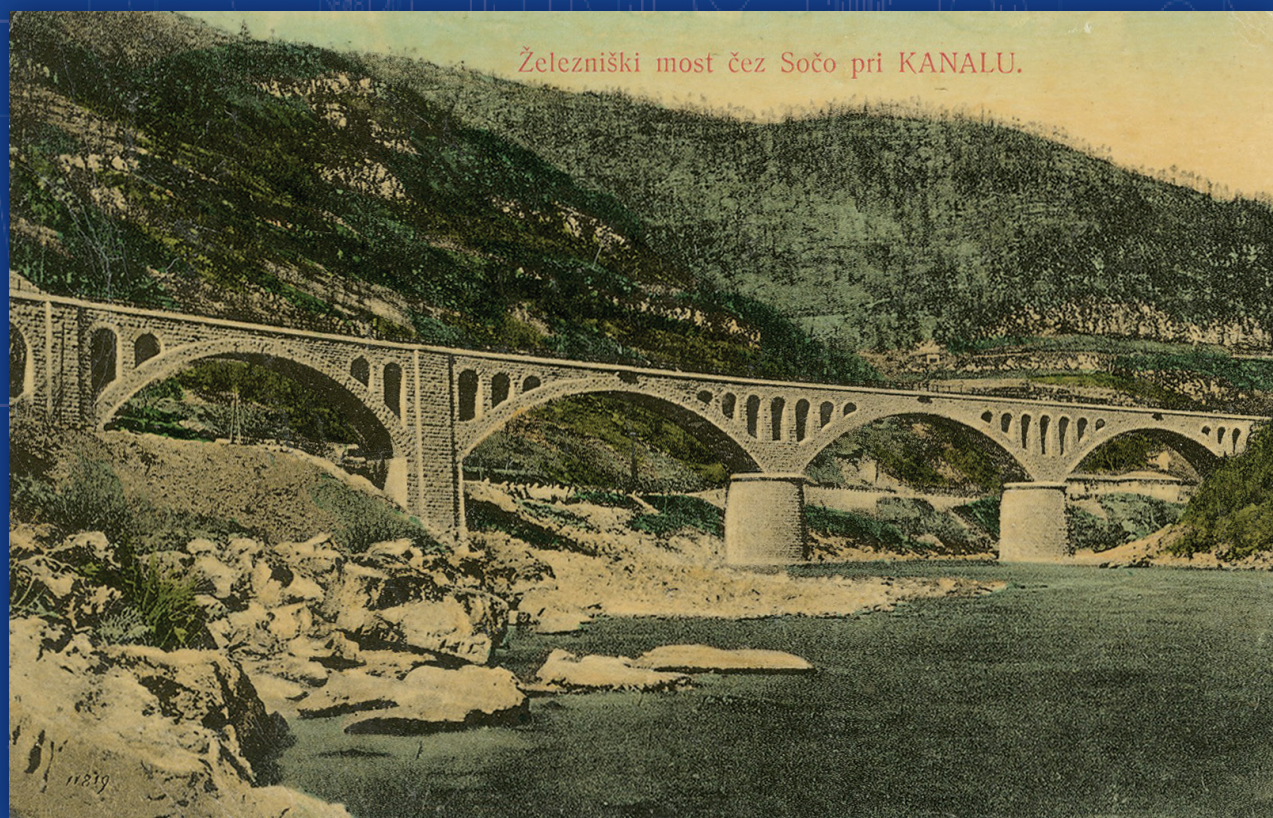


marec 2022

letnik 71

Gradbeni vestnik

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKA ZBORNICE SLOVENIJE



Železniški most čez Sočo pri KANALU.

70

**MOST V AJBI – VELIKAN MED
KAMNITIMI MOSTOVI, KI GA NI
VEČ**

82

**DOLOČITEV KARAKTERISTIČNIH
NOTRANJIH STATIČNIH KOLIČIN CESTNIH
MOSTOV IZ PODATKOV TEHTANJA VOZIL
MED VOŽNJO**

Izdajatelj:
**Zveza društev gradbenih inženirjev in
tehnikov Slovenije (ZDGITS),**
Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana,
telefon 01 52 40 200
v sodelovanju z **Matično sekcijo
gradbenih inženirjev Inženirske
zbornice Slovenije (IZS MSG),**
ob podpori **Javne agencije za
raziskovalno dejavnost RS, Fakultete
za gradbeništvo in geodezijo Univerze
v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo
Univerze v Mariboru in Zavoda za
gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:
ZDGITS: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**
izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski
Dušan Jukič
IZS MSG: **Jernej Mazij**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnikar Turk
UL FGG: **doc. dr. Matija Gams**
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor: **izr. prof. dr. Sebastjan
Bratina, glavni in odgovorni urednik**
doc. dr. Milan Kuhta

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:
Romana Hudin

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočeviski tisk

Naklada: 475 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni
v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA
(The Int. Construction Database) ter na
www.zveza-dgits.si

Letno izide 12 številčk. Letna naročnina
za individualne naročnike znaša 23,16 EUR;
za študente in upokoјence 9,27 EUR;
za družbe, ustanove in samostojne podjetnike
171,36 EUR za en izvod revije; za
naročnike iz tujine 80,00 EUR.
V ceni je všteti DDV.
Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:
Železniški most čez Sočo v Ajbi na razglednici.
Fotografija je nastala med letoma 1906 in 1915.
Foto: Pokrajinski arhiv Nova Gorica

**Glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in
Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije.**
UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;
spletna izdaja ISSN 2536-4332.
Ljubljana, marec 2022, letnik 71, str. 65-100

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: [priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

izr. prof. dr. Sebastjan Bratina, univ. dipl. inž. grad.
**ZASLUŽNI PROF. DR. JANEZ DUHOVNIK,
UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 80 LET**

66

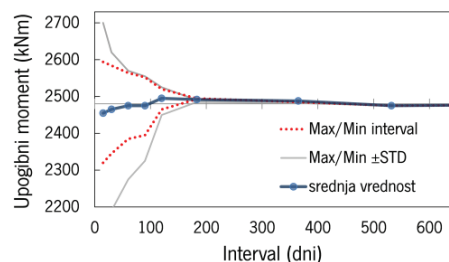
Gorazd Humar, univ. dipl. inž. grad.
**MOST V AJBI – VELIKAN MED KAMNITIMI
MOSTOVI, KI GA NI VEČ
THE AJBA BRIDGE – A GIANT AMONG STONE
BRIDGES THAT NO LONGER EXISTS**

70



doc. dr. Aleš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.
dr. Maja Kreslin, univ. dipl. inž. grad.
**DOLOČITEV KARAKTERISTIČNIH NOTRANJH
STATIČNIH KOLIČIN CESTNIH MOSTOV IZ
PODATKOV TEHTANJA VOZIL MED VOŽNJO
DETERMINATION OF CHARACTERISTIC
INTERNAL FORCES AND MOMENTS IN ROAD
BRIDGES FROM WEIGH-IN-MOTION DATA**

82



prof. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad.
Mateja Gris, dipl. var. inž.
asist. dr. Anita Ogrin, univ. dipl. inž. grad.
**USPOSABLJANJE POŽARNIH
STROKOVNJAKOV, PROJEKT SKILLED FE**

95



SKILLED TO BE A FIRE EXPERT  Erasmus+

Direkcija RS za infrastrukturo
**NADGRADNJA ŽELEZNIŠKE PROGE
LJUBLJANA–DIVAČA NA ODSEKU
LJUBLJANA–BREZOVICA**

98



Eva Okorn

Eva Okorn

ZASLUŽNI PROF. DR. JANEZ DUHOVNIK – 80 LET



Avtor karikature:
prof. dr. Niko Seliškar

Zaslužni profesor dr. Janez Duhovnik bo 1. aprila 2022 dopolnil osemdeset let. Dolgoletni glavni in odgovorni urednik Gradbenega vestnika, univerzitetni profesor na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani – med sodelavci znan kot najboljši inženir med profesorji, mentor številnim diplomantom, magistrrom in doktorjem, ustanovni član Inženirske zbornice Slovenije, odgovorni projektant in revident in še bi lahko naštevati. Dejstvo je, da je vse naloge in položaje, ki so mu bili zaupani, opravljal izjemno vestno in odgovorno in povsod je dosegel zavidljive uspehe. Ob tem častitljivem jubileju je za Gradbeni vestnik odgovoril na nekaj vprašanj.

• Avgusta bosta minili dve leti, odkar ste predali naloge glavnega in odgovornega urednika Gradbenega vestnika (GV) mlajšemu kolegu. GV ste urejali kar dvajset let in sedem mesecev, za kar ste verjetno porabili kar precej časa. Kaj namesto tega počnete sedaj?

Poraba časa za urejanje posamezne številke je bila zelo različna. Nekatere članke sem po prejemu le prebral, se dogovoril z recenzentom in po prejemu recenzije z njim in avtorjem uskladal njegove pripombe. Članek sem uvrstil v eno od prihodnjih števil in ga v dogovorjenem roku poslal lektorju. Z njim in včasih v sodelovanju z avtorjem sem uskladal popravke in poslal članek skupaj z drugimi prispevki za posamezno številko v tiskarno. Pregledal in prebral sem postavljeno številko in članke poslal avtorjem v zadnji pregled pred tiskom. Z njimi

sem uskladal morebitne popravke in jih poslal v tiskarno. Čakal me je še končni pregled in potrditev posamezne številke. Pri nekaterih člankih sem že po prvem branju svetoval avtorjem večje popravke, ki so jih avtorju večinoma sprejeli. Le pri nekaj člankih dogovarjanje z avtorji ni bilo uspešno in ti članki niso bili objavljeni. Kar nekaj časa pa sem porabil za nagovarjanje posameznih avtorjev k pisanju člankov o določenih znanstvenih ali strokovnih temah ali o objektih, pri katerih so sodelovali kot projektanti, izvajalci ali kako drugače.

V času, ko sem bil urednik GV, se je moje delo zelo spremenilo. Nekatera opravila so nazadnje zaradi digitalizacije zahtevala manj časa, obenem pa sem bil prav zaradi nje vsak trenutek na voljo, opraviti pa je bilo treba še kaj dodatnega, npr. vnos podatkov o vsaki številki GV v digitalni arhiv GV, kar na začetku ni bilo mogoče. Na koncu sem vse delo opravil na daljavo, večinoma od doma, včasih pa s kraja, kjer sem tisti čas bil.

Za GV nekaj časa porabim tudi sedaj. Če sem kot urednik vsak članek prebral vsaj trikrat, ga sedaj natančno preberem enkrat. Ob vsaki številki sem vesel, da je izšla in da so vsi, ki so pri njej sodelovali, svoje delo dobro opravili.

Odkar nisem več urednik, še nisem opazil, da bi imel kaj več časa početi kaj drugega, kar sicer počnem. Najbrž lahko naredim manj ...

• V vseh letih, ko ste bili urednik GV, je revija redno izhajala prav vsak mesec. Kako Vam je to uspelo?

Redno mesečno izhajanje GV se mi je od vsega začetka zdelo pomembno. Temu je bilo podrejeno vse drugo delo za GV. Zasluge za to pa imajo tudi vsi drugi sodelavci pri GV, posebno pa nekateri avtorji, ki so se večkrat hitro odzvali na moje prošnje za članke.

• Vaš sošolec in kolega mag. Andrej Kerin, donedavni predsednik Izdajateljskega sveta (IS) GV, se spominja sej IS GV. Pravi, da ste se redno sestajali dvakrat letno. Na sejah IS je Vaša preudarna beseda vedno naletela na plodna tla in na razumevanje vseh članov. Ali imate ob tem kakšno drugačno izkušnjo? Morda se Vam ob tem utrne tudi kakšna misel na takratno sodelovanje s člani uredništva?

IS GV se je poleg splošnih vprašanj o vsebini GV ukvarjal predvsem s financiranjem, s katerim je imel GV stalne probleme.

To je bilo delno rešeno, ko je kot soizdajateljica pristopila Inženirska zbornica Slovenije (IZS). K sreči je vodstvo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS) vedno poskrbelo za pokrivanje izjub pri izdajanju GV s sredstvi, pridobljenimi pri drugih dejavnostih. Ker so bili člani IS predstavniki različnih okolij, so bila mnenja glede vsebine GV pogosto različna. Tistim, ki so zagovarjali več strokovnih in poljudnih vsebin, sem navadno pritrjeval s prošnjo, naj take članke napišejo.

Nekateri člani IS so se čudili režijskim stroškom ZDGITS za izdajanje GV. Toda ti so bili vedno manjši kot v okoljih, iz katerih so prihajali očitki.

Ker je GV tudi društveno glasilo, so v njem objavljeni tudi prispevki o dejavnosti območnih in strokovnih društev. Te prispevke so redno pripravljali člani IS.

Delo sodelavcev pri izdajanju GV štejem za zelo korektno. Ne spomnim se, da bi kateregakoli zapleta ne rešili v zadovoljstvo vseh prizadetih. Upam, da tako menijo tudi oni.

• Med slovenskimi gradbeniki slovite kot celovita osebnost izjemnih strokovnih in moralnih kvalitet. Kdo Vas je navdušil za študij gradbeništva? Kdaj ste se vpisali na fakulteto, ste morali pred tem opraviti še obvezno služenje vojaškega roka?

Če je to, kar pravite, res, sem tega zelo vesel. Za to, da bom gradbenik, sem se odločil ob koncu osnovne šole. K tej odločitvi je pripomogel tudi moj stric po mamini strani, gradbeni inženir Janez Žerovnik, ki mi je tudi svetoval, naj ne grem na srednjo tehnično šolo, ampak na gimnazijo in nato na gradbeno fakulteto. Za maturo na gimnaziji Šentvid sem pripravil nalogo Toplotni in zvočni izolatorji, za katero sem gradivo poiskal v Centralni tehnični knjižnici v Ljubljani. Študirati sem začel v šolskem letu 1960/61, ko je bil uveden stopenjski študij. Razlogi zanj so bili podobni kot za uvedbo bolonjskega študija. Če šolanja nisi prekinil, si šel lahko v vojsko šele po diplomi.

• Kot študent gradbeništva ste se z vrstniki študenti dnevno srečevali na Fakulteti za gradbeništvo in ste se dnevno selili med staro tehniko, Fakulteto za montanistiko, oddelkom za geodezijo, ki so bili na Aškerčevi, med Inštitutom Jožefa Stefana z veliko moderno predavalnico na Jamovi, Metalurškim inštitutom na Lepem potu, kjer je imela prostore katedra za mehaniko tal, in Vodogradbenim laboratorijem na Hajdrihovi, kjer sta bila hidrotehnični in konstrukcijski odsek. Tam ste nabirali znanje in si novosti pridno zapisovali v svoje zvezke. Posebnost je bila tudi jutranja rezervacija mest v prvih vrstah, da bi lažje sledili predavanjem profesorjev. Ali se spomnite kakšne zanimivosti ali anekdote iz tega obdobja?

Takrat smo na fakultetah imeli predmet Predvojaška vzgoja, predmeta Športna vzgoja pa ne. Štelo se je, da bodo študentje svoj šport izbrali najkasneje v srednji šoli in se aktivirali v društvih zunaj univerze, ki jih tudi takrat ni manjkalo. Sam sem bil že od svojega enajstega leta član planinskega društva Medvode, kot petnajstletnik pa sem bil prvič tudi na alpinističnem tečaju. Zato z vsakodneвно jutranjo hojo od doma na železniško postajo Medvode in od ljubljanske železniške postaje na

Aškerčevo ali Hajdrihovo nisem imel težav. Sprehodi po Viču med posameznimi predavanji so bili pa sploh koristni. Gneča je bila v predavalnicah le prve mesece, kasneje pa ne več. Za sedeže v prvih vrstah so si nekateri morda res močno prizadevali. Meni je takrat, ko sem še odlično videl, bolj ustrezalo v zadnjih vrstah. Zapiske predavanj smo morali delati, saj učbenikov ni bilo. Le redki profesorji so imeli dele predavanj na voljo na ozalid kopijah. Zase vem, da na predavanjih ali vajah nisem nikoli manjkal. Kljub slabim pogojem za študij nas je od skoraj stodvajsetih brucev nekaj več kot trideset absolviralo v štirih letih.

Profesorji in asistenti so v predavalnice prihajali v belih haljah in s kravatami. Nekateri so zahtevali, da študentje tudi na izpite prihajajo slovesno oblečeni. Takrat so bila oblačila v primerjavi s sedaj neprimerno dražja, pa še izbire v konfekcijskih trgovinah ni bilo prav veliko. Tako se je zgodilo, da smo nekoč na izpit pri profesorju Marinčku prišli trije med desetimi kandidati oblečeni v enake rjavkasto zelene Varteksove obleke. Ne spomnim se, ali smo imeli vsaj kravate različne.

• Izvedel sem, da ste bili malo pred koncem študija dva meseca odsotni. Kaj ste počeli takrat?

Moja glavna želja med študijem je bila čimprej diplomirati. Ob sprotne študiju sem bil v tretjem in četrtem letniku demonstrator pri predmetu Trdnost, ki ga je poučevala docentka Carmen Jež Gala. Ob tem sem se ves čas intenzivno ukvarjal tudi z alpinizmom. Zato sem bil spomladi leta 1964 izbran za člana prve jugoslovanske alpinistične odprave na Svalbard, otočje na pol poti med Norveško in severnim tečajem. Skoraj dva meseca smo preživeli brez noči, nekaj dni sonce sploh ni zašlo. Odprava je trajala od 26. maja do 24. julija leta 1964. Tako sem zamudil vse izpitne roke po končanih predavanjih na drugi stopnji študija. Zamudo sem jeseni nadoknadil in šestega novembra opravil zadnji izpit. Diplomsko nalogo Most čez Savo pri Brežicah sem izdelal pod mentorstvom profesorja Srdana Turka, podloge zanj pa sem dobil na tedanji Skupnosti za ceste, kjer sem za izdelano nalogo dobil tudi nekaj denarja. Nalogo sem napisal in narisal s tušem na pavs papir, dal narediti kopije na ozalid papir in nalogo dal zvezati. Nalogo sem oddal mentorju sredi februarja leta 1965. Naročil mi je, naj se oglasim čez kakšna dva tedna, da se bova dogovorila za datum zagovora. Brezskrbno sem se čez nekaj dni odpravil na večdnevni zimski tečaj postaje gorske reševalne službe Ljubljana v Kranjsko Goro. V sredo, 24. februarja, sem se oglasil na fakulteti, kjer so mi povedali, da bo zagovor v soboto, 27. februarja. Takrat sem kot prvi v letniku tudi diplomiral. Prvo redno službo sem nastopil 10. marca 1965 na gradbišču viaduktov Peračica, Ljubno in Lešnica na gorenjski hitri cesti pri Gradisu, gradbenem vodstvu Ljubljana, kjer sem bil že prejšnje leto na počitniški praksi. Jeseni sem odšel za eno leto v JLA v Tolmin in na Pokljuko, kjer so takrat bile vojaške planinske enote.

• Slišal sem, da še veliko kolesarite. Ali ste kolo uporabljali tudi v mladosti?

Kot alpinisti smo kolesarili zato, da smo prišli do hribov. Za nas Medvoščane je bila najkrajša pot v Kamniško Bistrico itak mogoča le s kolesom. Neko leto sem se tja in nazaj peljal petindvajsetkrat. Ker je bila sobota še delovni dan, je bilo treba kar pohiteti, da smo za konec tedna opravili vse alpinistične

načrte. Tako sva v začetku avgusta 1961 z Romanom Robasom okoli treh popoldne odkolesarila v Kamniško Bistrico in šla čez Kamniško sedlo na Okrešelj. Tam sva v prepolni koči predremala nekaj ur na klopi v jedilnici, zgodaj odšla pod Štajersko Rinko in v njeni severni steni opravila šesto ponovitev Direktne smeri, ki je takrat veljala za eno najtežjih v Kamniških in Savinjskih Alpah. Ker sva en nahrbtnik z odvečno opremo pustila na Okrešlju, sva tja sestopila po Turskem žlebu, nato pa odšla čez Kamniško sedlo v Kamniško Bistrico. V zvoniku v Preski je odbilo polnoč, ko sem se vrnil domov. Razen skozi Medvode in Kamnik je bila takrat cesta povsod še makadamska. Manj prašni smo bili leto prej, ko smo šli s kolesi do pod treh Cin nad Cortino d'Ampezzo in splezali na vse tri glavne vrhove. Tja in nazaj smo se peljali skozi Postojno, Gorico, Videm, Pordenone in Vittorio Veneto. Do Cortine oziroma Misurine nam je od tam manjkalo samo še 100 km klanca. Več kot tristo km dolgo pot smo, otovorjeni s šotori, alpinistično opremo in hrano za ves čas poti, prevozili v eno smer v treh dneh.

V bolj oddaljene Zahodne Alpe nad Chamonixom, izhodiščem za vzpon na Mont Blanc, smo se prvič odpravili leta 1962 z vlakom. Takrat je vozil še Orient Express. Konec šestdesetih le prejšnjega stoletja smo se dokopali do spačkov in katrc in poti do hribov so postale udobnejše.

Ko sem se upokojil, so mi ob slovesu kolegi kupili sodobno treading kolo. Z ženo Mojco sva namesto v hribe pogosteje šla na daljše kolesarske ture. Prevozila sva vse najbolj znane poti ob rekah Drava, Donava, Inn, Enns, Mura in Raba pri severnih sosedih ter večino kolesarskih tur iz Velikega kolesarskega vodnika Igorja Maherja po Sloveniji. Marsikatero turo pa sva začrtala kar sama. Ko sva leta 2018 kupila električni gorski kolesi, pa se nama je odprl nov svet. Brez koles ne greva skoraj nikamor. Doslej sva bila na številnih slovenskih vzpetinah, na katere pripelje gozdna cesta ali vsaj spodoben kolovoz.

• Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG) Univerze v Ljubljani ste bili zaposleni 35 let, ko ste se leta 2004 upokojili. Na takratni FAGG ste se zaposlili po nekajletnem delu v gradbeni operativi. Kaj Vas je spodbudilo za ta korak?

Svojo poklicno pot sem si po nasvetu strica Janeza Žerovnika zamislil tako, da bi bil najprej nekaj let v operativi, nato pa bi si delo poiskal med projektanti. Preden sem opravil strokovni izpit, sem bil na gradbiščih na gorenjski hitri cesti, po odsluženem vojaškem roku pa na koprski železnici, v Luki Koper in mejnem prehodu Škofije. Med bivanjem v Gradisovem barakarskem naselju v Serminu sem občutil tudi ritem življenja gradbenih delavcev, ki so bili večinoma iz Bosne. V Luki Koper smo gradili armiranobetonska skladišča z montažno ločno streho z razponom 40 m. Posebnost gradnje je bila predobtežba izjemno podajnih temeljnih tal pod nasipi v Luki Koper. Tam sem dnevno spremljal posedke po navodilih profesorja Ivana Sovinca. Takrat sem v časopisu opazil razpis FAGG za mesto asistenta za Mehaniko tal. Domišljal sem si, da je to mesto kot nalašč zame. Ker so bile že takrat predpisane redne reelekcije za vse pedagoge na univerzi, je bila na razpisu izbrana že sicer zaposlena asistentka Darinka Battelino. Kmalu zatem je profesorja Milana Fakina nasledil profesor Slavko Pukl in FAGG je razpisala mesto za njegovega asistenta. Za to mesto se je prijavil Andrej Rogač, ki pa se je na koncu pre-

misлил. Takrat se je profesor Marinček spomnil na mojo nedavno prijavo in mi v začetku oktobra pisal, naj pridem na razgovor glede mesta asistenta pri profesorju Puklu. V soglasju z vodstvom Gradis Ljubljana sem se na FAGG zaposlil na začetku leta 1969.

• Na vhodu na fakulteto na Jamovi 2 je tabla, na kateri piše »SGP Grosuplje, 1969«. To je ravno letnica Vaše zaposlitve na takratni FAGG. Imate kakšen poseben spomin iz tistega časa?

Sedanjo stavbo FGG so začeli graditi že leta 1962. Ko smo kot študentje drugega letnika hodili mimo gradbišča, smo računali, da bomo študij zaključili že v njej. Toda gospodarska kriza je po zgraditvi armiranobetonske konstrukcije in nekaterih instalacij povzročila ustavitve del in gradnja je za nekaj let zastajala. Zato sem imel prvo delovno mesto na fakulteti v nekdanji sobi profesorja Fakina na Vodogradbenem inštitutu na Hajdrihovi. Pri asistentskem delu so mi prišle prav izkušnje, ki sva jih med študijem kot demonstratorja skupaj nabirala s sošolcem Mirkom Preglom. Največ pa mi je pri prehodu z gradbišča na univerzo pomagal vsestransko dobrohotni profesor Slavko Pukl. Žal je nenadno umrl že junija 1969.

Zaradi enomesečne zamude pri gradnji nove stavbe na Jamovi se je pouk v šolskem letu 1969/70 začel šele v začetku novembra. Spominjam se, da sva s takrat na novo zaposleno tajnico Konstrukcijskega odseka in kasnejšo dolgoletno tajnico IKPIR Darjo Okorn kar precej časa pakirala arhiv odseka in ga prevažala s Hajdrihove v nove prostore na Jamovi.

Delo umrlega profesorja Pukla je prevzel profesor Ervin Prelog s fakultete za strojništvo, ki se je leta 1974 zaposlil na FAGG. Ker je bil kot profesor polno zaposlen na drugi fakulteti, bil pa je zelo aktiven tudi kot projektant gradbenih konstrukcij, sem bil pri svojem delu precej samostojen. K projektantskemu delu je povabil tudi mene in takrat sem pridobil precej novih izkušenj. Profesor Prelog je bil avtor izredno velikega števila učbenikov in v tistem času je napisal prve slovenske učbenike iz mehanike gradbenih konstrukcij.

• Bili ste med začetniki uporabe računalnikov v slovenskem gradbeništvu, najprej pri analizi konstrukcij, nato pri konstruiranju armature in risanju armaturnih načrtov. Ukvarjali ste se tudi z robotizacijo sestavljanja armaturnih košev in ekspertnimi sistemi v gradbeništvu. Kakšni so Vaši spomini na to obdobje?

Imel sem izredno srečo, da so se ravno ob mojem prihodu ponudile možnosti širše uporabe računalnikov tudi v gradbeništvu. Mene so poleg mehanike gradbenih konstrukcij zanimala predvsem tista področja, kjer so se do takrat vsa dela opravljala ročno, brez pomoči takratnih mehanskih računskih strojev. Veseli me, da smo s sodelavci pripomogli k današnjemu stanju v Sloveniji. V Inštitutu za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR), ki ga je vodil Janez Reflak, sem imel na voljo odlične pogoje za delo in sposobne sodelavce Petra Fajfarja, Vida Marolta, Iztoka Kovačiča, Vlada Ljubiča, Dejana Žlajpaha, Andreja Vitka, Žiga Turka in druge. Več o tem sem napisal v članku, objavljenem v dvojni številki GV ob 50-letnici IKPIR-a, ki je izšla oktobra 2021.

• Znane so Vaše zasluge za izgradnjo stavbe za laboratorij FGG, ko ste v istem objektu združili zaklonišče in labora-

torijsko stavbo. Ta zgodba je gotovo zanimiva za vse uporabnike laboratorija.

Prizadevanja za gradnjo konstrukcijskega laboratorija so trajala več let. V literaturi ter ob obiskih drugih univerz sem opazil, da imajo vse fakultete tudi laboratorije za opravljanje preskusov na fizičnih modelih. Le na ta način je mogoče opaziti dejansko obnašanje, ki ga nato lahko posplošimo na računskih modelih. Prvotni zastareli laboratorij iz časa pred drugo svetovno vojno je bil na Stari tehniki, zunaj univerze pa sta bila sodobna laboratorija na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK) in Inštitutu za metalne konstrukcije (IMK). Na oba so profesorji sicer lahko vodili študente na krajše ogledne poskuse, ni pa bilo možnosti vsakodnevnega dela. Sprva smo si v odboru za ureditev konstrukcijskega laboratorija prizadevali za ureditev laboratorija v obstoječih prostorih na Jamovi, kjer je že deloval laboratorij za mehaniko tal. Izkazalo se je, da je smotrno zgraditi novo stavbo. Velika omejitev pri naših prizadevanjih je bila gospodarska kriza, ki jo je oblast reševala tudi tako, da je omejevala naložbe v negospodarske dejavnosti. Med izjeme pa so spadale naložbe v zaklonišča in objekte, povezane s prometom. Tako smo si v odboru zamislili, da bi združili togo ploščad, ki je potrebna za preskušanje konstrukcij, z zakloniščem, ki ga je bilo dovoljeno graditi. Konstrukcijski laboratorij pa smo prekrstili v Konstrukcijsko prometni laboratorij. Oboje nam je pomagalo, da smo pri Službi družbenega knjigovodstva (SDK) pridobili soglasje za uporabo sredstev, ki smo jih delno zbrali na FAGG, večino pa pri Samoupravni skupnosti za izobraževanje v gradbeništvu, kjer je bila predsednica Marija Mesarič, sam pa sem vodil komisijo za investicije. S slovenskimi gradbenimi podjetji smo sklenili Samoupravni sporazum o investicijah v gradbeno šolstvo, po katerem so podjetja v namenski sklad pripevala določeni delež svojih prihodkov. Iz tega sklada smo financirali obnove in novogradnje srednjih gradbenih šol v Mariboru, Celju, Ajdovščini, Kranju in Ljubljani, fakultete za gradbeništvo v Mariboru, oddelka FAGG za arhitekturo v Ljubljani in nazadnje še Konstrukcijsko prometnega laboratorija. Objekt je bil zgrajen po načrtih arhitekta profesorja Nika Seliškarja in konstruktorja profesorja Franca Sajeta v šestih mesecih od konca junija do konca decembra 1984. Zgradilo ga je SGP Grosuplje po pogodbi na ključ. Končna cena je bila zaradi spremembe kritine celo nekoliko nižja od pogodbene. Laboratorij že od prvega dne služi predvidenemu namenu. Tudi zaklonišče je bilo uporabljeno v času desetdnevne osamosvojitvene vojne. Upam, da kljub ta čas potekajočemu napadu Rusije na Ukrajino zaklonišče ne bo spet potrebno.

• Profesor dr. Janez Duhovnik, na fakulteti ste pustili neizbrisen pečat. V času Vašega poučevanja in raziskovanja je študij gradbeništva zagotovo veljal za zelo zahtevnega, prav takšen sloves ima tudi danes, vendar so bile takrat predavalnice bistveno bolj zapolnjene, kot so danes. V zadnjem letniku študija gradbeništva danes predavanja obiskuje 10 študentov. Kaj menite, zakaj današnje mladine študij gradbeništva ne zanima?

Tako kot stanje v gradbeni panogi je tudi vpis na fakulteto odvisen od gospodarskih nihanj. Oboje se odziva z zamudo. V času rasti vpisani študentje diplomirajo v času krize. Bili so časi, ko je bilo študentov na posamezni smeri še manj. Temu se ni mogoče izogniti. Zdi pa se, da so gradbeniki bolj trdoživi kot različne oblike podjetij. Kot kaže, se poslovni model podjetij uspešno prilagaja stalnim spremembam. Zanimanje mladih

za študij gradbeništva bi se morda povečalo, če bi v predmetnih vsebinah v osnovnih in srednjih šolah bilo več snovi s tega področja.

• Ali gre mogoče kateri izmed Vaših potomcev po vaših stopinjah?

Najstarejši od treh otrok, sin Gašper, je sicer ekonomist, toda večinoma je imel doslej opravka s prodajo gradbenih proizvodov. Hči Lucija, ki je pravnica, tako kot žena, ima odvetniško pisarno. Najmlajši, sin Rok, je gradbenik in dela v operativi. Imava pa štiri vnuke in štiri vnukinje in morda bo med njimi še kakšen gradbenik ali gradbenica.

• Smo v obdobju, ko nas na vsakem koraku spremljajo sodobne naprave, ki so vse bolj pametne, za vklop ogrevanja ali televizije sploh ne potrebujemo več termostata oziroma daljinca, stvari si lahko natisnemo, električna vozila izpodrivajo tista na klasični pogon, v bližnji prihodnosti se bomo prevažali s samovozečimi se vozili ... Ko pa pogledamo fotografije z aktualnih slovenskih gradbišč, ki jih objavljamo v GV v rubriki »Fotoreportaža z gradbišč«, beton še vedno pripeljejo s »hruškami«, še vedno se uporabljajo opaži, armaturo polagajo človeške roke ... Kakšen pa je Vaš pogled na to oziroma ali se bo gradbeništvo v prihodnosti tudi tako spremenilo, bomo objekte kar natisnili?

Eden od čarov gradbeništva je, da na prostoru, ki ga pogojujejo tla, okolica in vreme, znamo zgraditi nov objekt. Te okoliščine so še vedno vabljive za prave gradbenike.

Na prvi pogled se na gradbiščih res ni veliko spremenilo. Podrobnejši pogled pa razkrije velike spremembe pri tehnologijah opaževanja, izdelave in nameščanja armature ter priprave in vgradnje betona, če se omejimo na armirano-betonske konstrukcije. Tehnologija izdelave lesenih in jeklenih konstrukcij v tovarnah pa je tudi digitalizirana in robotizirana v mejah možnosti. Sestavljanje objektov na gradbiščih poteka z mehanizacijo, ki je neprimerljiva s tisto pred desetletji. Močno je napredovala organizacija gradnje. Če ni ovir pri denarju, objekte sedaj zgradimo bistveno hitreje kot včasih. Tudi tehnologija projektiranja objektov je na visokem nivoju. Vse naštetu pa je le del tega, kar prispeva k temu, da se zgradi kakovosten objekt. Če zadaj ni potrebnega znanja, rezultat ni dober. Nesorazmerno veliko zapletov pri gradnji objektov pa vsaj pri nas povzročajo administrativni postopki.

V tiskanje objektov na gradbišču po sistemih, kakršne sedaj razvijajo, ne verjamem. Ocenjujem, da je več možnosti v izdelavi posameznih delov v tovarnah, kjer so delovne razmere obvladljive. Možno pa je, da bodo odkriti postopki, ki bodo tiskanje na gradbiščih nekoč omogočali.

Profesor dr. Janez Duhovnik, najlepša hvala za odgovore. V imenu vseh sodelavcev Gradbenega vestnika ter v imenu vseh slovenskih gradbenikov se Vam ob tem življenjskem jubileju zahvaljujemo za vse opravljeno delo in Vam želimo obilje zdravja, sreče in zadovoljstva!

Vprašanja jubilantu sem pripravil Sebastjan Bratina ob pomoči mag. Andreja Kerina in akad. prof. dr. Petra Fajfarja. Za pomoč se jima iskreno zahvaljujem.

Gorazd Humar, univ. dipl. inž. grad.
samostojni raziskovalec zgodovine gradbeništva
gorazd.humar@gmail.com
Šempeter pri Gorici



Znanstveni članek
UDK 624.21.03:691.21(497.4)

MOST V AJBI – VELIKAN MED KAMNITIMI MOSTOVI, KI GA NI VEČ

THE AJBA BRIDGE – A GIANT AMONG STONE BRIDGES THAT NO LONGER EXISTS

Povzetek

V Ajbi pri Kanalu je bil čez reko Sočo leta 1906 zgrajen velik železniški kamniti most, ki je imel tri loke s 40 m razpona in en lok s 30 m razpona. Zgrajen je bil na Bohinjski progi, ki je predstavljala najtežji del druge železniške povezave s Trstom. S svojo dolžino 242,50 m je most v Ajbi veljal za najdaljši kamniti most na železnicah v avstro-ogrski monarhiji. V svetovnem merilu pa je bil po klasifikaciji, ki jo je izdelal Paul Séjourné v znameniti knjigi o mostovih z naslovom *Grandes voûtes*, med tremi najdaljšimi železniškimi mostovi, zgrajenimi iz kamna. Celo več – po njegovi klasifikaciji je bil most v Ajbi na svetu edini veliki železniški most s srednje visokimi loki. Po celi dolžini mostu je bila postavljena železna ograja, ki je nastala na risalnih mizah ateljeja slavnega dunajskega arhitekta Otta Wagnerja.

Nekdanji most v Ajbi je imel do svojega žalostnega konca leta 1945 zelo burno zgodovino. V prvi svetovni vojni je bil porušen eden od 40-metrskih lokov, ki je bil leta 1927 ponovno zgrajen v prvotni obliki. Leta 1944 so zavezniške letalske sile uničile isti lok, februarja 1945 pa so most v celoti uničile. V vsem tem času je bila na mostu v različnih zgodovinskih obdobjih trikrat postavljena začasna jeklena konstrukcija tipa Roth - Waagner, kar predstavlja svojevrsten fenomen. Leta 1954 v času povojne obnove je nedaleč od porušenega mostu nastal nov armiranobetonski ločni most s 6 loki po 25 m razpona.

Ključne besede: zgodovina gradbeništva, kamniti mostovi, Bohinjska železnica, Paul Séjourné, *Grandes voûtes*, Otto Wagner, Roth - Waagner, most v Ajbi, Solkanski most

Summary

In 1906, a large stone railway bridge was built over the Soča river in Ajba near Kanal (Slovenia). The bridge had three arches with spans of 40 m and one arch with a span of 30 m. The bridge was built as part of the Bohinj railway, which was the most difficult part of the railway connection between Vienna and Trieste. With a length of 242.50 m, the bridge was considered the longest stone bridge of the Austro-Hungarian railway network. The bridge was classified as one of three longest stone railway bridges in the world according to the Paul Séjourné's classification described in the famous book on bridges titled *Grandes voûtes*. Even more – according to his classification the bridge was the only existing stone railway bridge among the bridges with medium high arches. Along the entire length of the Bridge an iron railing designed by the famous Viennese architect Otto Wagner was installed.

The former bridge at Ajba had a very turbulent history until its end in 1945. During the WW I one of its 40 m long arches was destroyed and in 1927 it was rebuilt in the former shape. In 1944 the allied airborne forces destroyed the reconstructed arch of the bridge and in the next air raid in February 1945 the entire bridge was destroyed. During the time between WW I and WW II three temporary steel bridge constructions of the type Roth - Waagner were constructed on the bridge to enable the traffic. In 1954, during the post-war reconstruction, a new reinforced concrete bridge was built with 6 arches with equal spans of 25 m.

Key words: building history, stone bridges, the Bohinj railway, Paul Séjourné, *Grandes voûtes*, Otto Wagner, Roth - Waagner, The Ajba bridge, The Solkan bridge

1 UVOD

Odsek železniške proge med Jesenicami in Gorico, ki je bil za promet odprt 19. julija 1906, se še danes imenuje Bohinjska proga. Ta proga je takrat v gradbenem pogledu predstavljala enega največjih dosežkov pri gradnji železniških prog v Evropi, hkrati pa je to bil najtežji odsek 2. železniške povezave med Dunajem in industrijskimi območji južne Češke, zahodne Avstrije, Nemčije ter vedno bolj rastočim pristaniščem v Trstu [Rustja, 1990]. Mnogi so Bohinjsko progo imenovali tudi za progo gradbenih in tehničnih presežnikov, kar je dejansko tudi bila. Na le 89 km dolgem odseku med Jesenicami in Gorico je bilo zgrajenih 65 mostov različnih velikosti in 28 predorov s skupno dolžino 16,1 km [Rustja, 1990], med katerimi je najbolj izstopal Bohinjski predor s 6339 m dolžine [Humar, 2004]. V Baški grapi, kjer je proga potekala po geološko najzahtevnejšem terenu, pa so bili preseženi tudi največji dovoljeni vzponi za železniške proge, ki so znašali 25 ‰. Med mostovi je vsekakor izstopal kamniti ločni most čez Sočo pri Solkanu, ki se je z razponom loka 85 m ponašal z največjim kamnitim lokom na svetu med mostovi. Poleg Solkanskega mostu pa je bil na Bohinjski progji zgrajen še en velik kamniti most v Ajbi pri Kanalu, kjer je Bohinjska proga prvič prečkala reko Sočo. Most je s tremi loki razpona 40 m in z enim lokom razpona 30 m ter skupno dolžino 242,5 m veljal ob času izgradnje leta 1906 za najdaljši kamniti most na avstro-ogrskih železnicah in za tretji najdaljši kamniti most med železniškimi progami v svetovnem merilu [Séjourné, 1913–1916]. Glede na te tehnične karakteristike je v primeru mostu čez Sočo v Ajbi vsekakor šlo za izjemno gradnjo, ki zasluži vso pozornost. Most je bil na žalost porušen med letalskimi napadi zavezniških sil februarja 1945 v taki meri, da ga po vojni ni bilo več smiselno popraviti.



Slika 1. Železniški most čez Sočo v Ajbi pri Kanalu kmalu po izgradnji leta 1906. Foto: Pokrajinski arhiv Nova Gorica [PANG, 2022].

2 POTEK BOHINJSKE PROGE IN NJEN VOJAŠKI POMEN

Pristanišče Trst se je po prihodu Južne železnice v Trst leta 1857 pričelo skokovito razvijati. Po izgubi Benetk kot pomembnega pristanišča leta 1866 je novonastala avstro-ogrška država vse svoje razvojne cilje stavila na pristanišče v Trstu, ki je svoj po-

men še povečalo po odprtju Sueškega prekopa leta 1869 [Rustja, 1990]. Ugodna geografska lega Trsta je pomenila idealno vstopno točko do vseh srednjeevropskih trgov. Zato so se že kmalu po prihodu Južne železnice v Trst začeli vrstiti predlogi o novi trasi železnice, ki bi povezala industrijsko visoko razvita zahodna avstrijska ozemlja s Trstom. Več predlogov z različnimi poteki tras se je pričelo vrstiti, od proge pod Predelom in mimo Bovca do predloga s povezavo preko Idrije in Vipavske doline v Trst [Rustja, 1990]. Stvari in načrte pa je korenito spremenil nov potek meje med Italijo in avstro-ogrsko državo, določene z mirovnim sporazumom iz leta 1866, in ki je potekala nedaleč od današnje meje Slovenije z Italijo. Cesar Jožef I. je potek proge mimo Predela odločno zavrnil, ker bi se s tem proga nevarno približala italijanski meji. Svoje je dodal še avstro-ogrski generalštab, ki je prav tako ocenil potek te proge za nevaren, saj bi se le-ta preveč približala italijanski meji. Leta 1897 se je končno izluščil predlog poteka proge, kot ga poznamo še danes. Svoje soglasje je podal tudi avstrijski generalštab, saj je novi predlog trase predvidel potek proge v varnem zaledju države in zaradi večinoma dolinskega poteka v zavetju visokih hribov. 12. februarja 1901 je parlament odobril potek več alpskih prog, med njimi tudi Bohinjske proge. Več kot 500 km dolga 2. železniška povezava med Dunajem in Trstom je bila po dobrih petih leta dela odprta že (!) 19. julija 1906, čeprav je otvoritev kasnila za dobrih sedem mesecev [Rustja, 1990].

Vse načrte za Bohinjsko progo je zaradi njenega strateškega pomena za avstro-ogrsko državo potrjeval tudi njen generalštab, ki je za gradnjo postavil več pogojev predvsem iz obrambnega vidika [Humar, 1996]. Ti posegi generalštaba so seveda imeli za posledico višje stroške gradnje in gradnjo dodatnih objektov, ki jih ostale železnice niso imele. Ob vseh pomembnih mostovih in predorih so zgradili vojaške postojanke in bunkerje. Ne samo to – tudi projektiranje mostov je bilo podrejeno vojaškemu vidiku in interesom obrambe pred morebitnim napadalcem. Kako se je to pokazalo pri projektiranju mostu v Ajbi, bo obrazloženo v nadaljevanju teksta.

3 LEGA IN POTEK MOSTU

Pravzaprav je imel projektant mostu kar zahtevno nalogo, kako rešiti prehod bohinjske železnice čez Sočo v Ajbi pri Kanalu. Kraj Ajba leži le nekaj kilometrov severno od Kanala in predstavlja manjše naselje ob reki Soči na poti proti Tolminu. Na tem mestu so bregovi reke Soče razmeroma nizki in tudi sama trasa železniške proge po dolini Soče pri Ajbi poteka na višini, ki je le dobrih 20 m nad gladino Soče. Poleg tega je tudi vzdolžna os proge na mestu prečkanja sekala Sočo pod kotom 49°, kar je močno povečalo potrebno projektno dolžino mostu nad rečnim tokom. Tako so lokalni pogoji, ki so predvsem diktirali majhno višino trase proge nad gladino Soče in relativno velika potrebna dolžine premostitve sami po sebi določali projektno zasnovano mostne konstrukcije. Ob tem je treba poudariti tudi dejstvo, da se je direkcija avstrijskih železnic, ki je bila pristojna za gradnjo Bohinjske proge [Séjourné, 1913–1916], še vedno dokaj konservativno odločala o izključni uporabi kamna kot edinega gradbenega materiala pri gradnji železniških prog, čeprav se je beton v tem obdobju že uspešno uveljavljal kot nov gradbeni material, s katerim se je dalo tudi razmeroma hitro in ceneje graditi. Zaradi take »kamnite« doktrine pri gradnji mostov na vseh avstrijskih železniških progah so bili vsi

ključni mostovi na tej progi zgrajeni kot ločne konstrukcije iz kamna, vključno z največjim mostom na tej progi – to je Solkanskim mostom. Izjemoma so pri premostitvah uporabljali tudi jeklene rešetkaste nosilce (most čez Idrijco pri Modreju, most pri Grahovem v Baški grapi). Seveda je gradnja večjega mostu iz kamna možno izvesti le kot ločno konstrukcijo. Zato je tudi za najbolj logično rešitev za premostitev Soče izpadla rešitev za premostitev Soče z več plitvimi kamnitimi loki in z razmeroma velikimi razponi, s čimer bi se izognili postavitvi večjega števila stebrov mostu v strugi reke Soče. Čim manjše število stebrov mostu v strugi Soče, postavljena sta bila v strugi le dva stebra, so narekovali predvsem hidrološki pogoji. Reka Soča je reka izrazito hudourniškega značaja, višina njene vodne gladine lahko v zelo kratkem času naraste za nekaj metrov. Podatki iz načrta mostu pri Ajbi (slika 8) govorijo o višinski razliki 9,40 m med visoko (stoletno) vodo in običajno nizko gladino Soče na lokaciji mostu. Pretoki pa se lahko povečajo za večkratnik normalnega pretoka. Podatki za pregrado Podselo, ki leži le 7 km zračne linije gorvodno po toku Soče, kažejo, da znaša pretok stoletne vode na tej pregradi 2600 m³, največji do sedaj zabeležen pretok pa je znašal 2160 m³. Najnižji pretoki pa pa-dejo lahko celo krepko pod 50 m³ na sekundo.

Ti hidrološki podatki nam govorijo, da je gradnja kakršnegakoli objekta v strugi Soče lahko zelo nevarna in da je treba vse gradnje v območju rečnega toka skrbno načrtovati z upoštevanjem zelo nepredvidljivih hidroloških razmer. In načrtovanje novega železniškega mostu pri Ajbi se je seveda moralo prilagoditi navedenim hidrološkim pogojem. Projektant mostu se je zato odločil v strugo Soče postaviti le dva stebra, se je pa zato moral poslužiti kar se da velikih razponov ločnega dela mostu. S spretno izbiro primerno velikih lokov in zaradi relativno majhne višine poteka železnice nad vodno gladino je tako nastal most s štirimi plitvimi kamnitimi loki in skupne dolžine 242,50 m.

4 OPIS MOSTU

Železniški most v Ajbi je bil posebej med vsemi mostovi na 2. železniški povezavi med Dunajem in Trstom. Ne samo posebej, ampak tudi unikaten po svoji konstrukcijski zasnovi, obliki in tudi velikosti. Bil je edini kamniti most, ki je z več loki preskočil neko vodno oviro na celi trasi. Tudi na sami Bohinjski progi so bili le trije mostovi, ki so imeli razpone lokov enake ali večje od 40 m. Poleg mostu v Ajbi sta imela loka z večjim razponom le še most čez Radovno v Blejskem vintgarju (41 m) in pa seveda Solkanski most z največjim kamnitim lokom na svetu razpona 85 m. Vendar sta oba mosta imela le po en lok, medtem ko je imel most v Ajbi kar 4 velike loka.

Mostna konstrukcija dolžine 242,5 m se je v večjem delu nahajala v premi, ki se je na obeh koncih mostu s prehodnico takoj spremenila v krivino. Na obeh straneh mostu se je mostna konstrukcija pričela s pristopnima viaduktoma s po dvema odprtinama ločne oblike. Ločni odprtini na levem bregu Soče (smer Podbrdo) sta imeli razpon 8 m, medtem ko sta ločni odprtini na desnem bregu na delu pristopa k mostu merili 6 m vsaka. Gledano v smeri proti Gorici, so si na premostitvenem delu, ki je še vedno bil v območju stoletnih voda, sledili trije kamniti loki z enakimi razponi po 40 m. Debelina loka je v spodnjem delu loka (peta loka) znašala 2,10 m, medtem ko je v temenu loka znašala le 1,40 m. Loki so po obliki predstavljali



Slika 2. Železniški most v Ajbi na italijanski razglednici, nastali najverjetneje med letoma 1906 in 1915. Foto: Pokrajinski arhiv Nova Gorica [PANG, 2022].

del pravilne krožnice z radijem 29,00 m. Le zadnji lok, ki je prečkal lokalno cesto proti Tolminu, je meril po razponu 30 m. Ker so imeli vsi štirje loki enako puščico oz. višino loka, je imel 30-metrski lok zaradi tega večjo zakrivljenost kot ostali trije loki. Puščica loka pri 40-metrskih lokih je znašala 8 m, kar pomeni, da je znašalo razmerje med puščico loka in svetlim razponom pri vseh 40 m lokih 1 : 8. S takim razmerjem pa se je most v Ajbi že uvrščal v kategorijo mostov z dokaj plitvimi loki in tako plitve kamnite loka so avstrijske železnice le izjemoma gradile.

Nad vsemi loki mostu se je nahajalo vsega skupaj 24 varčevalnih oz. sekundarnih odprtin različnih višin, ki so imele vse po 2,5 m razpona, stebri med njimi pa so merili v debelino 1,2 m. Na sredini vsakega loka, razen na tistem s 30 m razpona, se je na višini železniške proge nahajala na vsaki strani mostu po ena stranska loža, ki je služila za izogibalnice železničarjem pri vzdrževalnih delih na progi. Vse vidne površine ločnega dela mostu so bile izdelane iz klesanega kamna različnih velikosti.

Posebno pozornost zaslužita velikost in oblika stebrov mostu, predvsem tistih dveh stebrov, ki sta ležala neposredno v strugi reke Soče. Oba stebra sta nenavadno masivna in na prvi pogled je videti celo, da sta predimenzionirana, vsekakor pa njuna dimenzija ni bila v sozvočju z dimenzijami tistega (ločnega) dela mostne konstrukcije, ki sta jo nosila.

Na prvi pogled nesorazmerne dimenzije obeh stebrov mostu v strugi Soče si lahko razlagamo le, če vemo, da so bili vsi pomembnejši objekti Bohinjske proge dimenzionirani tudi v skladu s posebnimi zahtevami avstrijskega generalštaba, ki so predvidevale vlogo in obnašanje mostnih konstrukcij v vojnih razmerah. Podrobneje bo to obrazloženo v nadaljevanju tega zapisa.

5 GRADNJA MOSTU

Dela na celotni trasi Bohinjske proge so posebej oživela spomladi leta 1904, čeprav se je gradnja Bohinjskega predora kot največjega in najtežjega objekta na tej progi začela že leta 1902. Prva dela pri postavljanju mostu v Ajbi so pričeli marca 1904. Seveda je najtežji del gradnje predstavljala gradnja obeh

stebrov mostu v strugi reke Soče. Vsi ostali deli mostu so se namreč nahajali izven območja normalnih in srednjih pretokov Soče in njihova gradnja ni bila v posebni meri ogrožena z visokimi vodami.

Oba temelja v strugi Soče sta razmeroma plitvo temeljena, saj se je že na majhni globini normalnega vodostaja nahajala solidna kamnita in nosilna podlaga. Tako sta temelja obeh stebrov temeljena na globini, ki se nahaja le dobre tri metre pod vodno gladino. Iz ohranjenih fotografij o gradnji se da razbrati, da je bilo gradbišče vsakega temelja zaščiteno pred vodnim tokom z dvojno zagatno steno in po vsej verjetnosti napolnjeno z nabito glino. Pronicajočo vodo v gradbeno jamo so sproti odstranjevali z električnimi črpalkami. Zanimivo je to, da je bil za material za temeljenje mostu uporabljen beton, ki so se ga sicer avstrijske železnice praviloma izogibale pri gradnji mostov. Beton so uporabljali le pri delih mostnih konstrukcij, ki so imeli majhne obremenitve, vsega nekaj kg/cm² po takratnih merilih. Za primerjavo naj navedem, da je tudi pri gradnji Solkanskega mostu bil pri izdelavi temeljev uporabljen beton (phani ali nabiti beton), za ojačitev betona pa so uporabili križno položene železne profile. Zelo verjetno so tudi pri temeljenju mostu uporabili podoben način vgrajevanja betona. Beton je namreč imel za razliko od kamna to dobro lastnost, da se je povsem kontaktno sprjel s podlago neravnih temeljnih tal in omogočil dober oprijem z njo.

Na ohranjenih fotografijah (slika 3) so lepo vidni platoji za ročno pripravo betonske mešanice kot tudi deponije gramoznega materiala za mešanje v beton. Ne samo temelji, iz betona sta bila zgrajena tudi oba stebra v strugi Soče, le da so ju po celotnem zunanem obodu oblekli s klesanim kamnom in tako ustvarili enoten arhitektonski videz celotne mostne konstrukcije. Kamnita obloga betonskih stebrov je imela tudi zaščitno vlogo. ščitila je betonske stene stebrov pred abrazijo vodnega toka Soče. Oba temelja mostu v strugi Soče sta bila izvedena leta 1904 v poletnih mesecih med julijem in septembrom [Séjourné, 1913–1916], v času torej, ko so vodostaji Soče najnižji. Stebra mostu v strugi Soče, visoka dobrih 10 m, sta po višini segala le malo nad predvideno gladino stoletne vode.



Slika 3. Izdelava temeljev obeh stebrov v strugi Soče poleti leta 1904. Temelji so bili izdelani iz betona. Foto: arhiv Tolminkskega muzeja [Tolminski muzej, 2020].

Potem ko so bili vsi temeljni deli mostu s stebri vred postavljeni, so pričeli gradnjo glavnih nosilnih lokov mostu. Vse tri loke razpona 40 m so gradili s predhodno postavitvijo lesenih podpornih odrov. Ti so bili ločne oblike s podpiranjem le na temelje stebrov mostu in brez podpiranja v strugo Soče. Le na ta način so lahko zagotovili zadostno varnost podpornih odrov pred porušitvijo v primeru visokih voda.

Za gradnjo lokov je bil uporabljen obdelan kamen apnenčaste izvora [Séjourné, 1913–1916]. Stiki med posameznimi kamnitimi bloki so bili izdelani s cementno malto, ki je vsebovala 590 kg cementa na 1 m³ malte. Prvi prstan kamnitih lokov so vgrajevali z enakomernim polaganjem kamnitih blokov istočasno pri peti loka in v sredini loka (slika 4). Po zaključku prvega nosilnega prstana posameznega loka (prvi sloj kamnov v loku) so na enak način vgradili tudi drugi prstan. Drugi, 40-metrski lok so zgradili kmalu po dokončanju prvega loka, tretjega pa po dokončanju drugega loka. Skupno je bilo v celotno mostno konstrukcijo vgrajenih 9200 m³ obdelanega kamna [Séjourné, 1913–1916].

Veliko pozornost so posvetili predvidenim deformacijam oz. poveseom podpornega odra med gradnjo. V ta namen so vse tri podporne odre velikih lokov nadvišali za 120 mm, kar pa se je pokazalo za zgrešeno [Séjourné, 1913–1916]. Po položitvi vseh kamnov v lok se je podporni oder podal navzdol le za 40 mm, kar je bilo precej manj od predvidenega. Podobno, a še v nekoliko večji meri se je pripetilo tudi graditeljem precej večjega loka Solkanskega mostu. K razodranju mostu v Ajbi so pristopili v avgustu leta 1905, pri tem pa so ugotovili, da se sama ločna konstrukcija, izdelana iz kamna, ni povsila skoraj nič [Séjourné, 1913–1916].



Slika 4. Gradnja kamnitih lokov je potekala postopno s podpiranjem na lesenih podpornih odrih. Posnetek je nastal julija 1905. Foto: arhiv Tolminkskega muzeja [Tolminski muzej, 2020].

Hkrati z gradnjo mostu so ob oporniku mostu na desnem bregu Soče in tik ob lokalni cesti gradili tudi kamnito stavbo stražarnice za čuvanje mostu (slika 6). Iz stražarnice se je dobro videlo celoten most in tako so lahko kontrolirali tako železnico na mostu kot tudi promet po cesti pod mostom. Manjšo stražarnico so zgradili tudi na severni strani mostu v smeri proti Podbrdu. Podobne stražarnice sta imela tudi Solkanski most

in most čez Idrijco v Bači pri Modreju, ki se nahaja neposredno ob železniški postaji Most na Soči.

Konstrukcija mostu v Ajbi je bila v celoti končana že leta 1905, saj je bilo predvideno, da bo Bohinjska proga namenjena prometu že novembra 1905, kar pa se zaradi zamude pri gradnji



Slika 5. Zaključna faza gradnje mostu jeseni leta 1905. Foto: arhiv Tolminskega muzeja [Tolminski muzej, 2020].



Slika 6. Ob mostu je stala na desnem bregu Soče velika stražarnica za čuvanje mostu. Foto: arhiv Tolminskega muzeja [Tolminski muzej, 2020].

	Časovno obdobje
Začetek del	marec 1904
Temeljenje	julij-september 1904
Izdelava centralnega loka	11. maj-5. junij 1905
Razodranje	9. avgust 1905
Odprtje mosta za promet	19. julij 1906

Preglednica 1. Pomembnejši datumi pri gradnji ([Humar, 1996], [Séjourné, 1913–1916]).

predora Bukovo v Baški grapi ni zgodilo. Celotna gradnja mostu v Ajbi je znašala 584.850 kron, od česar je temeljenje stalo 97.650 kron [Séjourné, 1913–1916]. Za primerjavo naj navedem, da je gradnja Solkanskega mostu stala dvakrat več.

Gradnjo mostu je vodila Direkcija za gradnjo drugega odseka Bohinjske proge (odsek Podbrdo-Gorica). Dela je vodil gradbeni komisar inženir Pabo Jelič, medtem ko je gradbena dela izvedlo gradbeno podjetje Sard, Lenassi & Co. iz Gorice [Séjourné, 1913–1916]. Most je bil namenjen prometu tako kot tudi celotna Bohinjska proga 19. julija 1906 po otvoritvi slovesnosti s prihodom cesarskega vlaka in prisotnostjo prestolonaslednika Franca Ferdinanda. Vsekakor pa je most čez Sočo v Ajbi v tem času veljal za najdaljši kamniti železniški most v habsburški monarhiji.

6 BURNA ZGODOVINA MOSTU V AJBI

Takoj po otvoritvi Bohinjske proge leta 1906 je promet po njej živahno stekel. Iz podatkov o gostoti prometa na njej se da slediti, da je čez dan po enotirni progi vsakih 7 minut peljal po en vlak [Rustja, 1990], kar je tudi za današnji čas nepojmljivo. Proga je hitro upravičila svojo vlogo in denar, ki je bil vložen vanjo.

Vendar so se za Bohinjsko progo nepredvideni dogodki v naslednjih letih in desetletjih vrstili eden za drugim. Že devet let po otvoritvi je leta 1915 Bohinjska proga z nastankom soške fronte povsem spremenila svojo vlogo in svoj značaj. Znašla se je sredi silovitih bojev med italijansko in avstro-ogrsko vojsko. V 12 velikih soških bitkah, ki so trajale do oktobra 1917, je Bohinjska proga odigrala odločilno vlogo za oskrbo enot avstro-ogrske vojske. Za dovoz vojaške opreme do Bohinjske Bistrice, ki je ležala v varnem zaledju fronte, je vozila kar ena tretjina vseh vlakov cesarstva. Med 3. soško bitko oktobra 1915 se je avstro-ogrska vojska zaradi silovitega pritiska italijanskih enot umaknila pri Kanalu na levi breg Soče. In pri tem umiku je avstro-ogrska vojska razstrelila srednjega od treh 40-metrskih lokov mostu v Ajbi [Petronio, 2000]. Promet po Bohinjski progi je tako bil za dlje časa prekinjen.



Slika 7. V tretji soški bitki oktobra 1915 so minerci avstro-ogrske vojske ob umiku razstrelili srednji lok iz skupine treh 40-metrskih lokov. Foto: arhiv Tolminskega muzeja [Tolminski muzej, 2020].

Vendar so se dogodki na soški fronti z odločilno 12. soško bitko konec oktobra 1917 povsem spremenili. Celotna Bohinjska proga je ponovno prešla pod kontrolo avstro-ogrsko vojske, ki je takoj poskrbela za začasno vzpostavitev prometa po progi. Tako na Solkanskem mostu kot na mostu v Ajbi je v manj kot treh mesecih do aprila 1918 postavila vojaške mostne provizorije tipa Roth-Waagner. To so bili hitro postavljeni montažni jekleni provizoriji, ki jih je imela avstro-ogrsko vojska kar nekaj v rezervi in jih uporabila, ko je bilo to potrebno. Promet, ki je imel v glavnem oskrbovalno vlogo za vojsko, je tako spet stekel.

Konec leta 1918 pa so se stvari v Soški dolini spet korenito spremenile. Z razpadom avstro-ogrsko države in koncem prve svetovne vojne je Italija zavzela celotno Primorsko in leta 1920 vzpostavila rapalsko mejo. Meja med Italijo in novonastalo Kraljevino SHS je po novem potekala po sredini Bohinjskega predora. Leta 1925 so se Italijanske državne železnice odločile obnoviti porušene mostove na Soči. Do leta 1927 so odstranile jeklene vojaške provizorije in v kamnu obnovile tako lok Solkanskega mostu kot porušeni srednji lok mostu v Ajbi v praktično enaki obliki, kot jo je imel most pred poružitvijo.

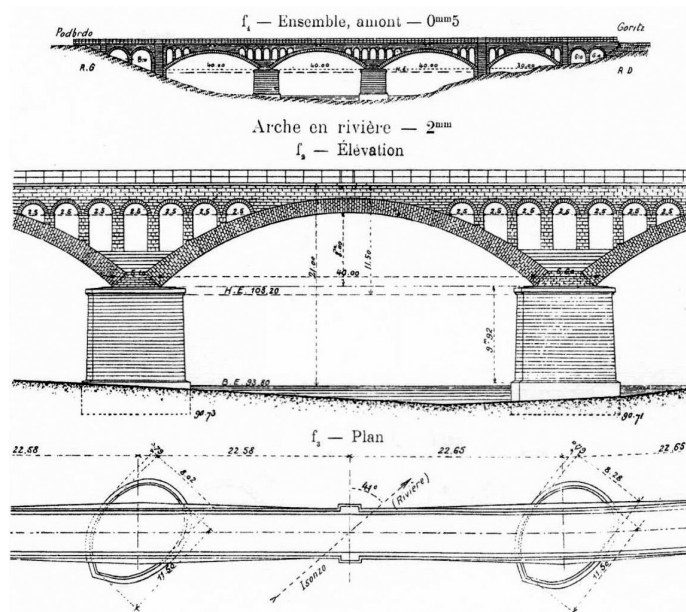
Končno usodo kamnitega železniškega mostu v Ajbi pa je zapечатila druga svetovna vojna. Partizanske inženirske enote IX. korpusa mostu v Ajbi zaradi velike zastraženosti tega objekta niso mogle razstreliti, zato so se odločale za manjše diverzije na številnih odsekih Bohinjske proge predvsem v Baški grapi [Tolminski muzej, 2006]. Leta 1944 pa so zavezniške letalske sile iz baz na Korziki izvedle več letalskih napadov na ključne mostove Bohinjske proge. V več zračnih napadih sta bila bombardirana Solkanski most in most v Ajbi. S temi napadi so hoteli zavezniški s pomočjo partizanskih diverzantskih enot uničiti pomembno nemško preskrbovalno žilo, saj so še celo pred invazijo v Normandiji zavezniške sile predvidevale izkrcaanje v Istri, in prekinitev vseh železniških povezav bi močno oslabilo nemško obrambo. Tako je julija leta 1944 zaveznikom med letalskim napadom uspelo porušiti srednjega od treh 40 m lokov, istega torej, kot ga je avstrijska vojska uničila leta 1916. Nemški vojski je uspelo sicer v kratkem času postaviti jekleni provizorij, a to je samo še pritegnilo nove napade zaveznikov. Februarja 1945 je med letalskim napadom uspelo zaveznikom uničiti večji del mostu v Ajbi do take mere, da za kakršnokoli hitro vzpostavitev prometa s provizoriji ni bil več sposoben. Uničeni most v Ajbi je morda s tem rešil Solkanski most pred popolnim uničenjem, saj se je intenzivnost napadov na Solkanski most po poružitvi mostu v Ajbi precej zmanjšala. Konec druge svetovne vojne je most v Ajbi pričakal v porušeni in povsem neprevoznem stanju.

Takojšnjo zasilno obnovo mostu po končani vojni je izvedla zavezniška vojaška uprava z novim jeklenim provizorijem tipa Roth-Waagner, že tretjim provizorijem, postavljenim na mostu v Ajbi.

7 VOJAŠKI VIDIK PROJEKTIRANJA IN GRADNJE MOSTU V AJBI

Dogodki med obema svetovnima vojnima, ki so imeli za posledico večkratno in resno poškodovanje mostu v Ajbi, so potrdili to, kar je pri projektnej zasnovi mostu v Ajbi zahteval avstrijski generalštab. Le na ta način se da obrazložiti posta-

vitev nenavadno močnih in očitno predimenzioniranih dveh stebrov mostu v strugi reke Soče, ki nikakor nista bila v dimenzijskem sozvočju z ločnim delom mostu. Oba stebra sta bila visoka 10 m, v tlorisu pa sta bila nekoliko ovalne oblike z rahlo zašiljenim sprednjim delom v smeri vodnega toka, kar je zmanjševalo hidravlični pritisk na stebra v primeru visokih voda, ki so lahko segale vse do vrha obeh stebrov. Zunanje tlorisne dimenzije obeh ovalnih stebrov so znašale 8,28 m x 11,50 m, kar vsekakor ni malo, je pa za to obstajal tehten razlog, ki ni izhajal iz statičnega računa samega mostu. Generalštab je dodatno zahteval, da je most dimenzioniran tako, da je možno v morebitnem vojnem času porušiti katerikoli kamniti lok mostu tako, da se zaradi tega ne bi verižno porušil celoten ločni del mostu. Oba stebra v strugi Soče sta bila zatorej dimenzionirana tako, da ob poružitvi enega od lokov mostu stebra brez škode prevzameta velike horizontalne sile, ki jih povzročata na steber vsak od sosednjih lokov. Na ta način je za daljšo prekinitev železniškega prometa čez most zadostovala poružitev le enega od nosilnih lokov, medtem ko bi ostali deli mostu ostali nepoškodovani. V mirnem času pa bi bilo možno v kratkem času čez porušeni del mostu postaviti jekleni provizorij in zasilno vzpostaviti promet. Tudi gradnja novega kamnitega loka v tem primeru ne bi bila posebno zahtevna, saj bi med gradnjo leseno ločno podporno konstrukcijo lahko, enako kot v primeru gradnje mostu leta 1905, temeljili kar na razširjenih temeljnih podstavkih obeh glavnih stebrov mostu v strugi Soče.



Slika 8. Risba mostu v Ajbi, ki jo je v svoji knjigi *Grandes voütes* objavil Paul Séjourné ([Séjourné, 1913–1916], Tome III, str. 185).

In to, kar je v svojih zahtevah za projektiranje mostu v Ajbi predvidel avstrijski generalštab, se je v resnici tudi zgodilo. Kot že omenjeno, je ob umiku avstro-ogrsko vojske na levi breg Soče med 3. soško bitko oktobra 1915 ta razstrelila srednjega od treh mostnih lokov razpona 40 m (drugi lok mostu, gledano iz smeri Podbrdo proti Gorici). Ob razstrelitvi se stebra nista porušila, saj sta bila dimenzionirana za takšne slučaje v vojnih

razmerah, nepoškodovana pa sta ostala tudi loka, ki sta stala levo in desno od porušenega loka mostu.

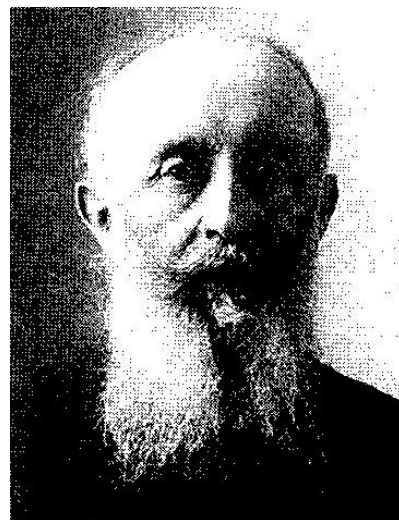
In prav to dejstvo se je pokazalo za koristno po ponovni vzpostavitvi prometa po Bohinjski progi po 12. in hkrati zadnji soški bitki, znani po preboju pri Kobaridu. Inženirske enote avstro-ogrsko vojske so čez porušeni del mostu v kratkem času položile jekleni provizorij tipa Roth-Wagner, ki je bil predviden prav za hitre intervencije pri premostitvah porušenihih mostov. Zaradi širokih stebrov mostu, dimenzioniranih za posebne razmere v vojnem času, zato ni bilo posebno težko položiti jeklenega rešetkastega provizorija, saj ga je bilo možno brez posebnih težav nasloniti na zadosti veliko zgornjo površino obeh stebrov v strugi Soče.

Enaka situacija se je ponovila julija 1944, ko so zavezniške letalske sile uničile isti kamniti lok mostu, kot ga je z razstrelitvijo porušila avstro-ogrsko vojska leta 1915. Nemška vojska je v kratkem času na istem mestu, kot nekoč avstro-ogrsko vojska, postavila jekleni provizorij, ki je omogočal ponoven promet vse do februarja 1945, ko je nov zavezniški zračni napad most povsem onemogočil za promet. In po končani drugi svetovni vojni je takratna zavezniška uprava bila tista, ki je tretjič postavila nov jekleni provizorij, ta je bil že tretji po vrsti. Ta provizorij je na mostu ostal do novembra 1954, ko je bil vzporedno s starim mostom le nekaj metrov vstran zgrajen novi armiranobetonski most s šestimi loki.

Zelo verjetno na svetu ne bi našli mostu, na katerem bi tri različne vojaške uprave, seveda v povsem različnih razmerah, postavile vsaka svoj jekleni provizorij za čim hitrejšo ponovno vzpostavitev železniškega prometa v vojnih ali v povojnih razmerah. In prav to se je v primeru kamnitega mostu v Ajbi zgodilo. Morda na prvi pogled pretirane zahteve, ki jih je pri nastanku projekta mostu v Ajbi uveljavil avstrijski generalštab, so se kasnejšim upravljavcem mostu očitno pokazale za zelo koristne.

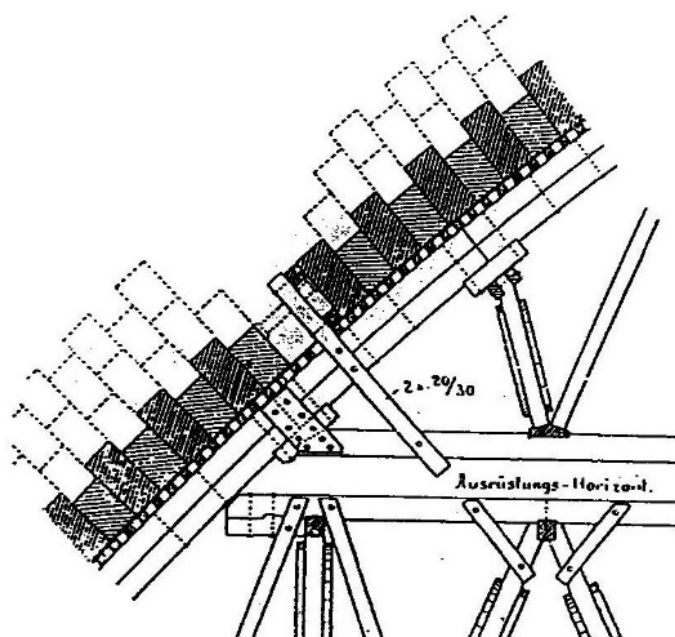
8 ZNAMENITI FRANCOSKI KONSTRUKTOR MOSTOV PAUL SÉJOURNÉ IN MOST V AJBI, PA TUDI MOST V SOLKANU

V Sloveniji je osebnost francoskega inženirja Paula Séjournéja (1851–1939) manj znana, čeprav je njegovo znanje imelo vpliv tudi na gradnjo kamnitih mostov na naših tleh, točneje na Bohinjski progi. V Franciji je Paul Séjourné znan kot zadnji in hkrati največji konstruktor velikih kamnitih mostov. Po dokončanem študiju na znameniti pariški šoli za gradbene inženirje École nationale des ponts et chaussées se je v Franciji hitro uveljavil kot inženir za gradnjo železnic, predvsem mostov na njih. Najbolj je morda v javnosti zaslovel s postavitvijo Adolfovega mostu (Le pont d' Adolphe) v Luksemburgu, ki je bil zgrajen leta 1903. To je most z dvema vzporednima kamnitima lokoma razpona 84,65 m, kar je le 35 cm manj, kot je znašal razpon dve leti kasneje zgrajenega loka mostu v Solkanu. V Franciji je Paul Séjourné doživel veliko slavo, leta 1918 je bil imenovan za člana francoske Akademije znanosti, leta 1926 pa je dobil najvišji čin velikega oficirja legije časti (Grand Officier de la Légion d' Honneur). Po njem je imenovana tudi ulica v Parizu v okrožju, kjer je živel [Coronio, 1997].



Slika 9. Paul Séjourné (1851–1939) ([Coronio, 1997], str. 148).

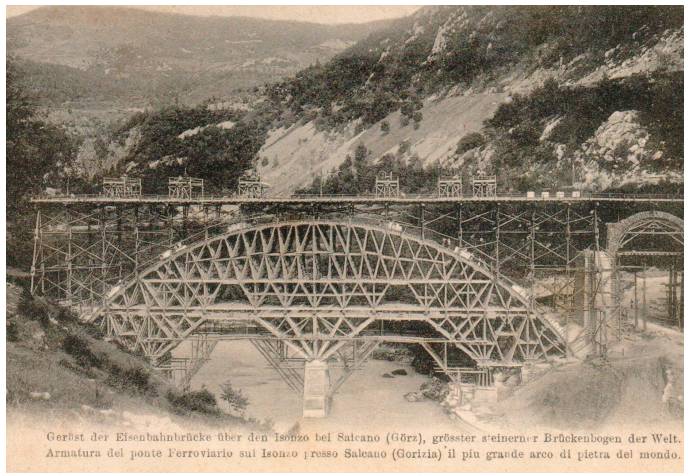
V strokovnih krogih je osebnost Paula Séjournéja bolj znana po inovacijah, ki jih je uvedel v gradnjo velikih kamnitih ločnih mostov. Detajlno je analiziral in preučil način postopnega vgrajevanja kamnitih blokov in nanašanja teže v loka velikih razponov. Že leta 1887 je v francoskem strokovnem časopisu Annales des ponts et chaussées [Coronio, 1997] objavil članek, ki je kasneje služil vsem konstruktorjem in graditeljem kamnitih ločnih mostov kot priročnik za gradnjo. V članku je opisal način gradnje razmeroma lahkih in hkrati ekonomičnih lesenih podpornih odrov za gradnjo velikih kamnitih lokov. Predstavil je način postopnega vgrajevanja kamnitih blokov v



Slika 10. Postopno vgrajevanje kamnitih blokov v lok Solkanskega mostu je potekalo v medsebojno ločenih segmentih, ki so bili med sabo razprti z lesenimi kladami. Te vmesne odprtine so zazidali naknadno po točno določenem postopku. Risba: osebni arhiv Gorazda Humarja [Humar, 2022].

lok v več ločenih segmentih in hkrati po posameznih prstanih loka (prstani – vzporedni sloji ali lamele kamnitih blokov v večslojnem loku, opomba G. H.) ter s postopnim zapiranjem stikov med posameznimi segmenti prstanov. Na ta način je bilo možno pritegniti k sodelovanju pri nosilnosti že vgrajene kamnite bloke prvega prstana, kar je zmanjševalo že tako velike obremenitve podpornega odra, sam podporni oder pa je posledično nosil manjše obremenitve.

Séjournéjev predlog načina gradnje velikih lokov iz kamna je omogočil racionalnejšo in predvsem cenejšo gradnjo velikih lokov kamnitih mostov konec 19. stoletja. Njegov postopek so uporabili pri gradnji vseh večjih mostov po Evropi in kmalu so ta postopek poimenovali »francoska šola gradnje velikih mostnih lokov«. To francosko znanje je bilo pri gradnji mostov na Bohinjski progi preneseno preko avstrijskih inženirjev, ki so postopek gradnje velikih kamnitih lokov še izboljšali ([Séjourné, 1913–1916], Tome V, str. 163). Projektant Solkanskega železniškega mostu Rudolf Jaussner je poročal [Jaussner, 1904], da ga je Direkcija avstrijskih železnic poslala že pred načrtovanjem Solkanskega mostu na študijsko potovanje v kraj Morbegno v Italiji, kjer so med letoma 1902 in 1903 gradili most čez reko Adde s 70-metrskim razponom. Pri gradnji tega mostu je že bil uporabljen način gradnje kamnitega loka v ločenih segmentih in prstanih, kot ga je razvil Séjourné. Dragocene izkušnje je Rudolf Jaussner uspešno prenesel in uporabil tako pri načrtovanju Solkanskega mostu kot pri njegovi gradnji [Jaussner, 1909]. In praktično enak postopek vgrajevanja kamnitih blokov je bil uporabljen tudi pri gradnji mostu s štirimi kamnitimi loki v Ajbi. Pri gradnji Solkanskega mostu in tudi pri gradnji mostu v Ajbi sta torej bili združeni in uporabljeni tako francoska kot avstrijska šola gradnje velikih kamnitih mostov.



Slika 11. Prvi dan vgrajevanja kamnitih blokov na podporni oder Solkanskega mostu. Jasno je videti enakomerno nanašanje kamnitih blokov na več ločenih mestih oz. segmentih hkrati. Posnetek je nastal 1. 6. 1905. Foto: osebni arhiv Gorazda Humarja [Humar, 2022].

Paul Séjourné je seveda poznan tudi kot avtor najboljše knjige o mostovih, ki je kadarkoli nastalo. To je njegova znamenita knjiga z naslovom *Grandes voûtes* (Veliki loki ali Veliki oboki, op. G. H.), ki je izšla med letoma 1913 in 1916 v šestih zvezkih in v kateri je opisal vse do tedaj znane masivne (kamnite in betonske oz. armiranobetonske, op. G. H.) mostove

z razponi nad 40 m [Séjourné, 1913–1916]. Uvedel je posebno klasifikacijo mostov po obliki in velikosti njihovih nosilnih lokov. In v tej njegovi knjigi se nahajata opisa Solkanskega mostu in mostu v Ajbi. V ta namen je Paul Séjourné celo osebno prišel na ogled obeh mostov. To se je zgodilo, kot je v knjigi zabeležil, oktobra leta 1908, dve leti po tem, ko je bila Bohinjska proga že odprta za promet. Solkanski most je nato očitno še enkrat obiskal avgusta 1909. Svoje vtise je dopolnil še z dokumenti, načrti in fotografijami obeh mostov, ki jih je pridobil pri Direkciji avstrijskih železnic na Dunaju. V svojem opisu mostu v Ajbi je Paul Séjourné podal tudi nekaj svojih osebnih pripomb in opazk, ki so se nanašale predvsem na nesorazmerno velike stebre mostu v strugi Soče. Dimenzije vseh stebrov je označil za nepotrebno velike, za stebre manjšega, 30-metrskega loka je celo napisal, da ti tako močni in po njegovem mnenju predimenzionirani stebri ne nosijo nič. Navedel je še nekaj manjših opazk, ki pa so se nanašale predvsem na arhitektonski videz mostu.

Iz tega zapisa bi se dalo morda razbrati, da Paul Séjourné zelo verjetno ni poznal vojaških zahtev za dimenzioniranje mostu v Ajbi, ki so na neki način popačile zunanji videz mostu z močno predimenzioniranimi stebri, katerih dimenzije niso izhajale le iz statičnega računa prometnih obremenitev mostu in lastne teže, ampak so bile tudi posledica dodatnih zahtev avstrijskega generalštaba za obnašanje mostu v vojnih razmerah. Te njegove povsem razumne opazke so lahko tudi dodaten argument za dokaz, da je avstrijski generalštab s svojimi tehničnimi zahtevami vplival na projektiranje in gradnjo pomembnih objektov na Bohinjski progi. Vsekakor pa so njegovi opisi mostu v Ajbi zanimiv kamenček v mozaiku poznavanja pestre zgodovine Bohinjske proge.

9 SÉJOURNÉJEVA KLASIFIKACIJA MOSTU V AJBI

Paul Séjourné je v svoji knjigi z naslovom *Grandes voûtes* uvedel zanimivo in svojevrstno klasifikacijo vseh mostov, ki jih je opisal in prikazal v tej knjigi. Mostove je ločil po tem, ali so to železniški ali cestni mostovi, pri železniških pa, ali so narejeni za proge z normalno širino tira ali za ozkotirne proge. Poleg tega je ločil mostove tudi po tem, ali imajo en sam lok ali več lokov, njegov dodatni kriterij za mostove pa je bil tudi, ali imajo visoke, srednje visoke ali razmeroma plitve loke oz. loke z majhno puščico. Most v Ajbi je tako uvrstil v kategorijo železniških mostov z več velikimi (s 40 m ali več razpona, op. G. H.) loki na železnicah z normalno širino tira. Takih železniških mostov z več velikimi loki ne v Evropi ne v ostalih delih sveta ni bilo veliko. Most v Ajbi je po tem kriteriju, časovno izhodišče je leto 1912, zasedal tretje mesto med masivnimi oz. kamnitimi mostovi v svetovnem merilu.

Vendar nam podrobnejši pregled vzdolžnih prereзов prvih dveh mostov v zgornji tabeli pokaže, da vse tri mostove ni možno povsem enakovredno vrednotiti, saj sta prva dva mostova povsem drugačna od mostu v Ajbi, najdaljši most v tej tabeli pa je celo v največji meri premostitveni viadukt preko doline in le v manjšem delu dolžine kot most prečka vodni tok oz. reko.

Poleg tega je Séjourné mostove z več loki razdelil še v posebne kategorije tudi po kriteriju, ali so njihovi loki visoki, srednje visoki ali plitvi. Most v Ajbi je uvrstil v kategorijo kamnitih mostov

	Leto gradnje	Skupna dolžina	Razpon največjega loka
Most na Marni Nogent-sur-Marne, Francija	1855-1856	827,88 m	50,00 m
Most Victoria na reki Wear, Anglija	1836-1838	247,11 m	48,77 m
Most čez Sočo v Ajbi, Slovenija	1904-1906	242,50 m	40,00 m

Preglednica 2. Trije najdaljši železniški mostovi z več kamnitimi loki na svetu [Séjourné, 1913-1916].

z več srednje visokimi loki ([Séjourné, 1913-1916], Tome III, preglednica na straneh 182 in 183). Po tem kriteriju se most v Ajbi nahaja v tabeli kot edini most tega tipa. Vsi ostali mostovi z več lokov in razpona vsaj 40 m so imeli namreč nosilne loke skorajda polkrožne oblike in s precej manjšo sploščenostjo lokov, kot jih je imel most v Ajbi, in zato niso spadali po Séjournéjevi klasifikaciji v isto skupino.

Skratka – tudi taka, za današnje pojme nekoliko nenavadna klasifikacija nam pove, da je pri mostu v Ajbi šlo za zelo redek tip velikega mostu z več lokov, na neki način unikatnega.

10 OGRAJA MOSTU JE BILA IZRISANA V WAGNERJEVEM ATELJEJU

Tudi železniški most v Ajbi je tako kot Solkanski železniški most imel ograjo, ki je bila izrisana v dunajskem ateljeju znamenitega avstrijskega arhitekta Otta Wagnerja (1841-1918), začetnika in glavnega akterja dunajske secesije [Nierhaus, 2017]. To je bila železna ograja nekoliko enostavnejšega tipa kot tista, ki je v izrazitem secesijskem slogu s podobami stiliziranih vencev krasila sredino Solkanskega mostu. Ta tip enostavnejše Wagnerjeve ograje se še danes v originalni obliki nahaja na Solkanskem mostu na njegovih pristopnih viaduktih, medtem ko je sredinski del mostu z bogatejšo secesijsko ograjo ([Schlöss, 1987], str. 15) zgrmel v Sočo ob poružitvi glavnega loka mostu med 6. soško bitko 9. avgusta 1916. Danes v sredini Solkanskega mostu stoji železna ograja italijanske izvedbe, ki so jo na most postavili ob obnovi glavnega loka leta 1927.

Potem ko sem po daljšem raziskovanju in spletu tudi srečnih okoliščin januarja letos ugotovil, da sta na Solkanskem mostu ob njegovi otvoritvi leta 1906 stala dva različna tipa Wagnerjeve ograje, sem se takoj posvetil raziskavi vrste ograje, ki je bila postavljena na nekdanjem železniškem mostu v Ajbi. Da je na njem stala Wagnerjeva železna ograja, se da evidentno in nesporno ugotoviti iz ohranjenih fotografij mostu (slika 7) in fotografij enakega tipa ograje, načrtovane v Wagnerjevem ateljeju in postavljene na postajah mestne železnice na Dunaju ([Schlöss, 1987], str. 27, 34, 38, 43, 44). Ograja je bila sestavljena iz vertikalnih litoželeznih stebričkov, ki so bili privijačeni na kamniti robnik mostu. Stebričke so povezovale po tri cevi iz valjanega železa. Zgornja cev je bila nekoliko večjega premera kot spodnji dve povezovalni cevi. Vse tri cevi je v sredini med sosednjima stebričkoma povezoval še dodaten vertikalni

vezni element iz železa. Na litoželeznih stebričkih je bil vidno označen napis R.PH.WAAGNER WIEN. To je oznaka podjetja z imenom pogodbenega proizvajalca številnih železnih izdelkov za avstrijske železnice, znanega kot delniška družba Rudolph Philip Waagner Wien. Enak napis je še vedno viden na stebričkih ograje Otta Wagnerja na Solkanskem mostu (slika 12).



Slika 12. Enaka Wagnerjeva ograja, kot je nekoč stala na mostu v Ajbi, še danes stoji na Solkanskem železniškem mostu. Foto: Gorazd Humar, jan. 2022 [Humar, 2022].

Po mojem vedenju sta Wagnerjevo ograjo med vsemi železniškimi mostovi imela samo Solkanski most in most v Ajbi. To dejstvo nam pove, da sta oba mostova bila očitno uvrščena v višji kategorični razred kot ostali železniški mostovi v močno razvejanem železniškem sistemu železnic avstro-ogrske države.

V središču Dunaja in ob primestnih postajah dunajske mestne železnice je danes še vedno ohranjene veliko povsem identične Wagnerjeve ograje, saj je bila v Wagnerjevem ateljeju izvorno narisana prav za postavitev ob postajah mestne železnice. Dunajska mestna železnica je bila v glavnem zgrajena med letoma 1896 in 1901 in ob njej je bilo postavljenih nekaj kilometrov take ograje. Po originalnih Wagnerjevih načrtih tako ograjo še danes izdelujejo na Dunaju.

Wagnerjeva ograja na mostu v Ajbi pa je bila iz Soče po koncu druge svetovne vojne pobrana in skoraj zagotovo prodana kot staro železo. Ni znano, da bi se ohranil kakšen ostanek te ograje. Tako je Solkanski most še edini most v Sloveniji, na katerem se je ohranila ta Wagnerjeva ograja.

11 V AJBI JE PO DRUGI SVETOVNI VOJNI NASTAL POVSEM NOV MOST

Bohinjska proga je osvoboditev pričakala v precej žalostnem stanju. Porušeni je bilo veliko premostitvenih objektov na njej, porušeni so bili celi odseki proge s tirnicami vred. Tudi večina železniških postaj je bila uničena skoraj do tal.

Ko se je Jugoslovanska armada 12. junija 1945 umaknila iz Trsta na Morganovo linijo, je železniška proga na odseku Trst-Most na Soči, na tem odseku se je nahajal tudi most v Ajbi, prešla pod zavezniško angloameriško upravo, čeprav so pod njenim



Slika 13. Ob dokončanju novega armiranobetonskega ločnega mostu v Ajbi novembra 1954 so pričeli postopno odstranjevati vojaški jekleni provizorij Roth-Waagner, ki ga je leta 1945 postavila zavezniška vojaška uprava. Foto: osebni arhiv Gorazda Humarja [Humar, 2022].

nadzorom odsek te proge, ki se je nahajal v coni A, upravljale italijanske državne železnice FS (Ferrovie statali). Taka ureditev je trajala od 1. septembra 1945 pa vse do priključitve Primorske k takratni Jugoslaviji 15. septembra 1947 [Rustja, 1990]. Novonastala meja z Italijo je železniško povezavo s Trstom tokrat presekala pri kraju Kreplje na Krasu, le nekaj kilometrov pred Sežano.

Vseeno je bila celotna Bohinjska proga v prvih povojnih letih z velikimi napori le obnovljena. Največji zalogaj te obnove pa je bila postavitev novega mostu čez Sočo v Ajbi, saj na temeljih porušenega kamnitega mostu ni bilo več smiselno postaviti novega mostu.

Da bi lahko promet po Bohinjski progji tekkel neovirano, so se odločili [Vrečko, 1952], da se obstoječi provizorij čez nekdanji kamniti most v Ajbi ne poruši, ampak da se v neposredni bližini na skoraj vzporedni trasi in z minimalnim odmikom od starega porušenega mostu zgradi čez Sočo nov most. Njegova pozicija je bila določena na nizvodni strani starega mostu, priključke novega povezovalnega dela železniške proge pa bi na most priključili po izgradnji novega mostu. Odločbo o odobritvi projekta novega mostu so 15. 12. 1952 izdale Jugoslovanske železnice, Direkcija za železnice v Ljubljani [Vrečko, 1952]. Odločba je vsebovala dve zanimivi zahtevi. Ena od zahtev je bila ta, da je treba izdelati modelno hidravlično študijo z določitvijo števila in oblike stebrov mostu v koritu Soče v Hidrotehničnem laboratoriju Gradbene fakultete, druga zahteva pa je vsebovala navodilo, da mora pri načrtovanju mostu sodelovati tudi arhitekt, ki naj bi pripomogel k boljšemu arhitektonskemu videzu mostu v okolju, v katerem je v okolici mostu več kamnitih zgradb.

Gradnja novega mostu se je že kmalu po izdaji odločbe pričela leta 1952 po projektu, ki ga je izdelal inženir Feliks Vrečko, gradbena dela pa so bila zaupana Gradbenemu podjetju Primorje Ajdovščina. To gradbeno podjetje se je v začetku leta 1946 razvilo iz inženirske enote IX. partizanskega korpusa, ki

je deloval med drugo svetovno vojno po širni Primorski. Po končani vojni je to podjetje v veliki meri sodelovalo pri obnovi domovine in pri obnovi več med vojno porušenih železniških objektov Bohinjske proge.

Ob gradnji novega mostu v Ajbi je bilo treba porušiti tudi ostanke nekdanje stražarnice, ki je stala ob mostu. Stražarnica je bila močno poškodovana v letalskih napadih na most med drugo svetovno vojno, njeni ostanki pa so ležali točno v osi trase novega mostu. Tako se je od vseh stražarnic mostov na odseku Bohinjske proge med Podbrdom in Gorico do danes ohranila le stražarnica ob mostu čez Idrijco. Ta stražarnica ni bila samo prebivališče posadke, ki je stražila most, ampak ima v podzemnem delu cel sistem obbetoniranih rogov z zakloniščem.

Rezultati meritev in hidroloških študij, ki jih je opravil Hidrotehnični laboratorij pod vodstvom dr. inž. Mila Goljevščka na modelu, ki je ponazarjal 600 m korita Soče, so pokazali, da je najprimerneje izvesti armiranobetonski most s 6 ločnimi odprtini razpona po 25 m in stebri, ki naj bi bili »limonaste« oblike, kot piše v tehničnem poročilu projektanta inž. Feliksa Vrečka [Vrečko, 1952]. Taka oblika stebrov naj bi nudila najmanjši hidravlični upor. Zanimivo je še dejstvo, da je naročnik že à priori odpisal izvedbo mostu v jeklu, ki je v obdobju kmalu po vojni veljalo za deficitarni material.

Pred gradnjo mostu je bilo v trasi mostu izvedenih 7 geoloških vrtin, najgloblja je segala 50 m globoko, iz katerih je bilo ugotovljeno, da nastopajo nosilne plasti apnenca že na globlji treh metrov pod rečnimi naplavinami in dnom reke Soče [Vrečko, 1952].

Iz tehničnega poročila projektanta tudi izhaja, da je bil pri gradnji temeljev uporabljen beton marke MB 110, ki vsebuje 200 kg cementa na 1 m³ gotovega betona. Stebri mostu pa so bili zgrajeni iz betona marke MB 170 z vsebnostjo 270 kg cementa na 1 m³ betona. Stebre so iz arhitektonskih in tudi iz zaščitnih razlogov pred erozijo in abrazijo vodnega toka zaščitili z zidanim ovojem iz kamnitih blokov debeline 50 cm.

Statični račun lokov je projektant inž. Vrečko izvedel, kot je sam to napisal, po teoriji elastičnosti, upoštevajoč Bleichovo metodo [Vrečko, 1952]. Projektant je prav tako izrisal segmentni leseni podporni oder za gradnjo lokov. Ti podporni odri lokov s podpiranjem na temelje stebrov so se v sredini loka točkovno naslanjali eden na drugega, podobno kot pri gradnji kamnitih lokov med letoma 1904 in 1906. Poleg tega je projektant še določil način betoniranja lokov po segmentni metodi hkrati z vgrajevanjem betona na več mestih in z vgrajevanjem betona po lamelah oz. po slojih v liniji loka. Tudi ta postopek postopnega nanašanja obtežbe z betonom na podporni oder se ni bistveno razlikoval od načina nanašanja kamnitih blokov na odre med gradnjo prejšnjega kamnitega mostu, grajenega skoraj pol stoletja prej. Postopki gradnje starega in novega mostu so si bili podobni, le da se je tokrat gradil most v betonu in ne več v kamnu.

Vsekakor je treba pohvaliti arhitektonski videz novega ločnega mostu v Ajbi. Očitno je hotel projektant izraziti spoštovanje staremu in porušenemu kamnitemu mostu z domiselno obdelavo vidnih površin mostu, oblečenih s klesanim kamnom. Poleg tega so vsi stebri mostu do višine, kjer se pričenjajo vzpenjati loki mostu, v celoti oblečeni z obdelanim kamnom,



Slika 14. Novi železniški most v Ajbi, ki ga je leta 1954 zgradilo Gradbeno podjetje Primorje Ajdovščina. Foto: Gorazd Humar, jan. 2022 [Humar, 2022].

kar spominja na videz stebrov starega mostu. Da je arhitektonski videz novega mostu pomemben, se je vsekakor zavedal projektant mostu inž. Vrečko, ki je v tehničnem poročilu izvedbenega projekta mostu posvetil zunanjemu videzu mostu posebno poglavje [Vrečko, 1952]. Izdelal je več variant obdelave fasade mostu s kamnom in jih predlagal investitorju, ki je podal končno odločitev, da naj bo fasada mostu nad loki in do voziščne površine obdelana s kraškim kamnom. Tako je novi armiranobetonski most dobil poseben videz zunanjih vidnih površin, kar ga v tem pogledu uvršča med unikatne izdelke med armiranobetonskimi mostovi v Sloveniji. Most so slovesno odprli za promet 26. novembra 1954 z odhodom vlaka na most iz postaje Avče ob 11. uri [Rustja, 1990].



Slika 15. Novi most v Ajbi ima večji del fasade mostu na površinah med posameznimi loki obdane s klesanim kamnom. Foto: Gorazd Humar, jan. 2022 [Humar, 2022].

Most čez Sočo v Ajbi je še danes z dolžino dobrih 242 m najdaljši masivni most na slovenskih železnicah in bo v tej vlogi verjetno ostal še kar nekaj časa (v to kategorijo niso šteti dolinski viadukti na železnicah v Sloveniji, op. G. H.).

Na oporniku novega mostu na desnem bregu Soče in tik ob cesti Nova Gorica-Bovec je pritrjena spominska kamnita tabla, v katero je vklesan sledeč, z obledelimi črkami označen in praktično že neviden napis:

1954

PROJEKTIRAL ING. FELIKS VREČKO
GRADILO GRADBENO PODJETJE
PRIMORJE AJDOVŠČINA

12 STANJE DANES

Nekdanji kamniti most v Ajbi je ostal danes le še v kolektivnem spominu starejših prebivalcev Ajbe, Kanala in okolice, bolj po pripovedovanju prednikov in po nekaj starih razglednicah mostu, ki so se ohranile. Danes le še malokdo pripoveduje kakšno zgodbo o tem mostu, ki ga že dolgo ni več.

Vendar pozoren obiskovalec mostu le opazi, da je zraven obstoječega mostu stal neki drugi most. Najbolj se to vidi po ostankih obeh temeljev mostu v strugi reke Soče. Sicer so stebre starega mostu ob gradnji novega mostu porušili do dna struge Soče in jih z njo izravnali, vendar pa se še vedno vidi kamniti obroč okoli ostankov vsakega od obeh stebrov in velike površine betonskega temelja mostu. To je večji del leta vidno, ker se dobrih dvesto metrov gorvodno od sedanjega mostu nahaja vodnoakumulacijska pregrada Ajba za HE Plave in HE Plave 2, ki je bila zgrajena leta 1939. Ker vodna pregrada večino vode v obdobjih z nizkim vodostajem usmerja v tlačni cevovod hidroelektrarne, je pretok Soče pod jezom minimalen in zelo majhen, gladina pa nizka in ostanki temeljev se brez težav opazijo.



Slika 16. Še danes sta v strugi Soče lepo vidna ostanka betonskih stebrov starega kamnitega mostu iz leta 1906. Viden je še vedno tudi kamniti obroč okoli betonskega jedra obeh stebrov. Foto: Gorazd Humar, jan. 2022 [Humar, 2022].

Česar pa oko opazovalca skoraj ne bo več opazilo, sta še vedno ohranjena ostanka obeh pristopnih delov mostu na obeh bregovih Soče. Žal sta povsem zarasla s plezalkami in grmovjem ter očem dobro skrita in tako neopazna. Oba z zelenjem skrita preostala dela nekdanjega velikega kamnitega mostu v Ajbi sta tihi pričci slave nekdanjega mostu in velike-

ga inženirskega dosežka pri gradnji Bohinjske proge. Zato bi bilo primerno ta dva preostala dela nekdanjega kamnitega mostu v Ajbi primerno očistiti in zavarovati pred nadaljnjim propadanjem.

Misel, ki jo je zapisal znameniti francoski konstruktor mostov Paul Séjourné v svoji knjigi *Grandes voûtes* in ki bi jo bilo vredno tudi danes spoštovati, pravi:

Praeteriti fides, spes futuri. (Spoštuj preteklost in misli na prihodnost).

13 ZAKLJUČEK

Hkrati s Solkanskim mostom je bil most v Ajbi eden zadnjih velikih mostov, zgrajenih iz kamna. Po letu 1906 je nastopila nova doba – doba armiranobetonskih mostov, ki traja še vedno.

Le domišljamo si lahko, kako bi bila videti okolica mostu v Ajbi, če bi se kamniti železniški most ohranil vse do današnjih dni. Zagotovo bi poleg Solkanskega mostu predstavljal edinstveno tehnično in arhitekturno zanimivost, ki bi močno popestrila že tako privlačno Soško dolino.

Ta moj zapis je zato poklon dobi, v kateri je nastal most v Ajbi. To je poklon dobi velikih inženirskih dosežkov in dobi, v kateri so vsa pridobljena znanja pri gradnji kamnitih mostov postala temelj za znanja, potrebna pri gradnji novih mostov iz betona. In ta preskok se je zgodil prav v času, ko je bil zgrajen kamniti most v Ajbi, skupaj s Solkanskim mostom eden zadnjih velikih kamnitih mostov v zgodovini človeške civilizacije.

14 LITERATURA

Coronio, G., *250 ans de l' École des ponts en cent portraits*, Presses de l' école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1997.

Humar, G., *Kamniti velikan na Soči*, Založba Branko, Nova Gorica, 1996.

Humar, G., *Predori – iskanje svetlobe*, Založništvo Pontis, Nova Gorica, 2004.

Humar G., zasebni arhiv, 2022.

Jaussner, R., *Die grosse gewölbte Eisenbahnbrücke über die Adda im Valtelina in Italien*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur und Architekten- Vereines, Nr. 1, 1904, Wien, 1904.

Jaussner, R., *Die gewölbte Brücke über Isonzofluss*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur und Architekten- Vereines, Nr. 44, 1909, Wien, 1909.

Nierhaus, A., Rigele, G., Czech, H., Hödl, J., Koerner, J., Faber, M., *Otto Wagner - Die Wiener Stadtbahn*, Hatje Cantz Verlag, Berlin, 2017.

PANG, *Pokrajinski arhiv v Novi Gorici*, 2022.

Petronio, P., *Transalpina - Bohinjska proga*, Slovenske železnice d. d., Ljubljana, 2000.

Rustja, K., *Proga predorov, Tiri in čas*, Železniško gospodarstvo Ljubljana, Ljubljana, junij 1990.

Séjourné, P., *Grand voûtes*, Tome I – VI, Imprimerie Vve, Tardy – Pigelet et fils, Bourges, 1913 – 1916.

Schlöss, Erich, *Die Wiener Stadtbahn*, Magistrat der Stadt Wien, Wien, 1987.

Tolminski muzej, *Življenje ob železni cesti, 100 let Bohinjske proge*, Založil Tolminski muzej, Tolmin, 2006.

Tolminski muzej, *fotografski arhiv muzeja*, 2020.

Vrečko F., *Izvedbeni projekt mostu v Ajbi*, SŽ – Infrastruktura, d.o.o., Služba za gradbeno dejavnost, arhiv v Novi Gorici, 1952.

doc. dr. Aleš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad.
ales.znidaric@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije,
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana



prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.
goran.turk@fgg.uni-lj.si
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
gradbeništvo in geodezijo,
Jamova 2, 1000 Ljubljana



dr. Maja Kreslin, univ. dipl. inž. grad.
maja.kreslin@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije,
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana



Znanstveni članek
UDK 656.053.432:656.11

DOLOČITEV KARAKTERISTIČNIH NOTRANJIH STATIČNIH KOLIČIN CESTNIH MOSTOV IZ PODATKOV TEHTANJA VOZIL MED VOŽNJO

DETERMINATION OF CHARACTERISTIC INTERNAL FORCES AND MOMENTS IN ROAD BRIDGES FROM WEIGH- IN-MOTION DATA

Povzetek

Prispevek obravnava določitev notranjih statičnih količin cestnih mostov iz podatkov tehtanj vozil med vožnjo (meritev WIM, ang. weigh-in-motion), ki edina zagotovijo celovito in nepristransko sliko o tovrstnem prometu na merjenem cestnem odseku. Tovrstni podatki so ključni za določitev realnih učinkov prometnih obtežb, s katerimi dokazujemo zadostno varnost mostov, tudi starih in poškodovanih. Takšne mostove bi bilo treba ob upoštevanju obtežnih shem iz sodobnih pravilnikov za mostove pogosto zapreti ali jim omejiti prometno obtežbo. Predstavljene so metode, s katerimi iz podatkov WIM izračunamo karakteristične vrednosti notranjih statičnih količin. Posebej smo analizirali metodo konvolucije in rezultate primerjali z rezultati ekstrapolacije ekstremnih vrednosti, najbolj pogostega postopka za napovedovanje maksimalnih pričakovanih vplivov prometa v izbranem obdobju, ter rezultati obsežnih numeričnih simulacij. Veliko pozornost smo namenili izbiri vhodnih parametrov ter načinu odčitavanja karakterističnih vrednosti, ki bistveno vplivajo na rezultate ekstrapolacij in simulacij. Rezultati kažejo, da daje metoda konvolucije, ki je računsko neprimerno manj zahtevna od ostalih uporabljenih metod, primerljive rezultate. Sočasno so le-ti

manj občutljivi za subjektivno izbiro uporabljenih parametrov. Bistveni zaključek analize je tudi, da za zanesljiv račun karakterističnih notranjih statičnih količin mostov zaradi prometa potrebujemo s sistemom WIM izmerjene osne pritiske in medosne razdalje vsaj 100.000 tovornih vozil.

Ključne besede: most, tehtanje vozil med vožnjo, notranje statične količine, konvolucija, simulacija, WIM, B-WIM

Summary

The paper deals with the determination of the internal forces and moments in road bridges from the weigh-in-motion (WIM) data. WIM measurements are the only means that provide a comprehensive and unbiased picture of freight traffic on a measured road section. The WIM results are crucial for calculating the actual effects of traffic loads, a key parameter in assessing the structural safety of old and deteriorated bridges. Such bridges would often be closed or moved when analysed with load models from the current design codes. The paper presents methods for calculating the characteristic values of load actions calculated using WIM data. We focused on the convolution method and compared the results with the extreme value extrapolations, the most common procedure for predicting the maximum expected impact of traffic load, and extensive numerical simulations. We paid close attention to the selection of input parameters and the determination of characteristic values that significantly affect the extrapolation and simulation results. Finally, we have shown that the convolution method, which is computationally far less demanding than other more commonly used methods, yields comparable results, which are, at the same time, less sensitive to the subjective choice of parameters. The main conclusion of the research is that for a reliable calculation of the characteristic static internal forces and moments in road bridges, we need WIM-measured axle loads and spacings of at least 100,000 heavy goods vehicles.

Key words: bridge, weigh-in-motion, internal forces and moments, convolution, simulation, WIM, B-WIM

1 UVOD

Med obtežbami na mostove je, poleg tistih zaradi naravnih nesreč, najteže napovedati realno prometno obtežbo ([Bailey, 1996], [Melchers, 1999]). Problem je zlasti izpostavljen pri analizi obstoječih mostov, kjer je poznavanje dejanskih notranjih statičnih količin mostov zaradi prometne obtežbe vitalnega pomena, da dokažemo zadostno konstrukcijsko varnost objektov, ki so bili dimenzionirani na bistveno manjše prometne obtežbe, kot jih prenašajo danes. Na ozemlju Slovenije smo tako v zadnjih 118 letih, od avstro-ogrškega pravilnika za gradnjo mostov [avstro-ogrski imperij, 1904] do Evrokoda [SIST, 2006], uporabljali devet različnih pravilnikov oz. standardov, od katerih je vsak predpisoval drugačne obtežne sheme, ki so bile prilagojene stanju prometa ter stanju stroke v času, ko so nastali.

Velik kakovostni preskok pri določitvi realnih notranjih statičnih količin mostov zaradi prometne obtežbe je bil narejen z uporabo rezultatov tehtanj vozil med vožnjo (ang. weigh-in-motion ali WIM). Za razliko od statičnih tehtnic, na katerih stehatmo posamezna vozila med mirovanjem, sistemi WIM uporabljajo senzorce, vgrajene v voziščno ali mostno konstrukcijo, in na podlagi izmerjenih odzivov izračunajo najboljši možni približek osnih pritiskov vseh čez sistem vozečih vozil [Žnidarič, 2017a]. Posledično so edini način meritve, ki zagotovi podatke o obtežbah vseh vozil v prometnem toku, kar je bistven podatek pri računanju pričakovanih maksimalnih prometnih obtežb. Sistemi WIM so prvi razcvet doživeli v 70. in 80. letih prejšnjega stoletja. V grobem jih delimo na cestne in na mostne (angl. Bridge WIM ali s kratico B-WIM). Temeljna razlika je, da prvi merijo osne obremenitve s senzorcji, vgrajenimi v obrabno plast voziščne konstrukcije, drugi pa s senzorcji, največkrat merilniki deformacij, ki so nameščeni na spodnjo stran prekladne konstrukcije [Žnidarič, 2108]. Obe vrsti sistemov zagotavljata primerljive podatke (osne pritiske, medosne razdalje, hitrost in kategorijo vozil ipd.). Lahko pa iz meritev B-WIM izračunamo tudi nekatere ključne kazalnike obnašanja konstrukcije pod prometno obtežbo, kot so izmerjene vplivnice (ang. *influence line* ali *IL*), raznosi obtežbe po konstrukciji in koeficienti sunka. Vsi ti podatki so ključni pri umerjanju izbranega računskega modela konstrukcije in določanju realne prometne obtežbe in posledično omogočijo analizo realne konstrukcijske varnosti obstoječih mostov [Žnidarič, 2017b].

Sočasno zasledimo v Kanadi prve poskuse določitve učinkov prometne obtežbe na podlagi statičnih tehtanj [Agarwal, 1976], ki so služili za osnovo kanadskemu pravilniku za mostove [OHBD, 1979, 1983, 1991] ter mnogim nadaljnjim študijam in raziskavam. Iz istega obdobja izhajajo prvi poskusi uporabe podatkov WIM za določanje realne prometne obtežbe in za kalibracijo pravilnikov za določitve obtežb mostov. Pionirja na tem področju sta bila Ghosn in Moses [Ghosn, 1986], ki sta uporabila teoretične statistične modele [Ang, 2006]. Moses [1979] je tudi avtor prvega mostnega sistema B-WIM. V tistih letih so se z uporabo rezultatov WIM in učinkom prometnih obremenitev na mostove ukvarjali številni avtorji v ZDA ([Nowak, 1991], [Fu, 1995]), na Danskem [Ditlevsen, 1994], v Veliki Britaniji [Cooper, 1995], Švici [Bailey, 1996], Španiji [Crespo-Minguillón, 1997] ter na Irskem [Grave, 2001]. Poleg teoretičnih statističnih modelov so ti avtorji uporabljali simulacije za izračun maksimalnih pričakovanih prometnih obtežb na mostovih.

Iz tega obdobja so tudi prve slovenske raziskave na tem področju ([Žnidarič, 1991], [Žnidarič, 1994], [Žnidarič, 1996], [Žnidarič, 1997]) v sodelovanju s profesorjema Mosesom in Ghosnom. Težava vseh raziskav iz tega obdobja so bile omejene količine podatkov WIM, pogosto vprašljive kakovosti, ki niso bili najbolj primerni za analize prometnih obtežb mostov. Podatki iz cestnih sistemov WIM, ki se namestijo v vozišče, so v tistem času zapisovali čas posameznega vozila zgolj s sekundno natančnostjo, kar ne zadošča za napovedovanje ekstremnih dogodkov z več težkimi vozili na mostu. Zato smo v začetku 90. let prejšnjega stoletja oživili tehnologijo mostnega tehtanja vozil med vožnjo, ki v ZDA pred tem ni zaživela, in jo do konca stoletja v okviru evropskih raziskovalnih projektov ([COST 323, 2006], [WAVE, 2002]) uveljavili kot uspešno alternativo bolj razširjenim cestnim sistemom WIM. V projektih iz 5. in 6. okvirnega programa Evropske komisije ([SAMARIS, 2006], [ARCHES, 2009]) smo poglobili stike z avtorji nekaterih najbolj naprednih študij na področju napovedovanja pričakovanih maksimalnih prometnih obtežb mostov ([Grave, 2001], [O'Connor, 2001], [O'Brien, 2003], [Getachew, 2003], [Caprani, 2005], [Enright, 2010]).

Nekoliko za statičnimi so začeli raziskovati dinamične vplive na mostove zaradi prometne obtežbe. Predpisi za mostove Kraljevine Jugoslavije [Kraljevina Jugoslavija, 1933] so na primer samo tri leta po nastanku dobili dodatek, ki je vključeval koeficient sunka, K_d [Kraljevina Jugoslavija, 1936]:

$$K_d = 1 + \frac{550 + 5 \cdot L}{10 + L} \cdot 0,01, \quad (1)$$

kjer je L razpetina mostu v metrih. Enaka formula se je uporabljala tudi po 2. svetovni vojni v pravilniku PTP-5 [FLRJ, 1949]. Upoštevanje realnih prirastkov dinamične obtežbe pa je še vedno predstavljalo svojevrsten izziv. Cantieni [Canteini, 1984] na primer podrobno opisuje eksperimentalne postopke za določitev dinamičnih vplivov, ki so temeljili na vožnji enega ali dveh vozil čez umetno neravnino pred mostom ali na njem, in rezultate, ki so bili temelj švicarskih pravilnikov. Ti in podobni rezultati so nekaj let kasneje služili kot osnova za upoštevanje dinamičnih učinkov zaradi prometne obtežbe, ki so implicitno zajeti z obtežnimi shemami za cestne mostove v Evrokodu [SIST, 2006].

Meritve koeficientov sunka zaradi vseh vozil na mostu so postale izvedljive šele z razvojem sistemov B-WIM v zadnjih letih. Ghosn in Xu [Ghosn, 1989] sta sicer že v času prve generacije teh sistemov poskušala osnovni algoritem tehtanja dopolniti z dinamičnimi komponentami in rekonstruirati dinamični odziv konstrukcije, vendar pristop v praksi ni zaživel. Z novo generacije sistemov smo razvili in implementirali več algoritmov merjenja koeficienta sunka, ki temeljijo na obdelavi izmerjenih deformacij mostu v časovnem in frekvenčnem območju ([SAMARIS D30, 2006], [ARCHES D10, 2009]). Posledično je danes mogoče kot del meritev B-WIM v realnem času izračunati koeficient sunka za vsako vozilo, ki pelje čez merjeni most ([Kalin, 2016], [Žnidarič, 2017a], [Žnidarič, 2019], [Kalin, 2021]). Izmerjeni podatki potrjujejo, da se vrednosti koeficienta sunka s povečevanjem obtežbe zmanjšujejo, kar bistveno vpliva na rezultate analize varnosti mostov in kar je bilo do nedavnega mogoče pokazati samo z numeričnimi simulacijami ([Kirkegaard, 1997], [González, 2008], [Caprani, 2013]).

Vsi v prispevku predstavljeni rezultati temeljijo na meritvah B-WIM, ki jih uporabljamo v Sloveniji, bi pa enake podatke o osnih pritiskih in medosnih razdaljah dobili tudi z večino sodobnih sistemov, ki se vgrajujejo v voziščne konstrukcije. Posledično smo v prispevku povsod, kjer sistemi B-WIM niso nujno potrebni, uporabili splošno oznako WIM.

2 UPORABLJENA METODOLOGIJA

Zadnjih 30 let smo tudi v Sloveniji izpopolnjevali metodologijo za določanje učinkov realnih prometnih obtežb mostov, ki temelji na statistični obdelavi rezultatov tehtanj vozil med vožnjo. Za pridobivanje natančnejših podatkov o prometnih obtežbah in posledično zanesljivejše napovedovanje pričakovanih notranjih statičnih količin mostov so bili v zadnjih letih razviti številni novi in izboljšani postopki ([Žnidarič, 2017a], [Žnidarič, 2018], [Žnidarič, 2020]), ki vključujejo:

- iz meritev B-WIM izračunane t. i. izmerjene vplivnice mostu, s katerimi umerimo računski model konstrukcije,
- izboljšano metodo zaznavanja vozil, s čimer zmanjšamo delež napačno stehanih vozil,
- hitrostno in temperaturno kalibracijo, ki temeljita na robustni statistiki in bistveno zmanjšata napake zaradi dinamične interakcije vozil in mostu ter zaradi okolja, predvsem vplivov temperature.

Natančnost meritev katerihkoli sistemov WIM preverimo s primerjavo tež, dobljenih s sistemi WIM, in statičnih tež istih vozil. Razvit je bil sistem kontrole kakovosti rezultatov, ki odpravi tipične napake meritev, kot so manjkajoče ali neobstoječe osi, in poišče vozila z malo verjetnimi karakteristikami, na primer nenormalnimi medosnimi razdaljami ali osnimi pritiski.

Kakovostni in količinsko zadostni podatki so osnova za razvoj robustnega postopka za določitev maksimalne pričakovane prometne obtežbe in maksimalnih notranjih statičnih količin. Konvencionalne metode za račun le-teh temeljijo bodisi na statističnih porazdelitvah ekstremnih vrednosti [Ang, 2006] ali na numeričnih simulacijah [Enright, 2010]. Raziskave kažejo ([Žnidarič, 2012], [Žnidarič, 2017a]), da z relativno enostavnimi in učinkovitimi statističnimi postopki, kot je metoda konvolucije [Moses, 1987], dobimo rezultate, ki le malo odstopajo od rezultatov kompleksnih numeričnih simulacij in so posledično enako primerne za določitev notranjih statičnih količin zaradi prometne obtežbe, ki jih upoštevamo v računu realne konstrukcijske varnosti obstoječih mostov ([ARCHES D08, 2009], [Enright, 2013], [Enright, 2016]). Za razliko od numeričnih simulacij, ki so računsko in časovno zahtevne, je metoda konvolucije tudi nekaj 100-krat hitrejša.

Za analize in primerjave so bili uporabljeni rezultati meritev B-WIM na več lokacijah, ki smo jih izvajali v okviru evropskih projektov TRIMM [Ralbovsky, 2014] iz 6., ter BridgeMon [Corbally, 2014] iz 7. okvirnega programa Evropske komisije. V nadaljevanju sta opisana razvoj in verifikacija metode konvolucije kot robustne alternative obstoječim načinom določanja pričakovanih maksimalnih notranjih statičnih količin mostov zaradi vplivov prometa.

V analizah smo uporabili rezultate meritev B-WIM na treh avtocestnih odsekih s prometom v dveh pasovih v isto smer, in sicer:

- 2-letne meritve s podatki o 793.800 vozilih na odseku Ljubljana-Kranj (vir A),
- 1-mesečne meritve s podatki o 101.680 vozilih na odseku Ljubljana-Celje (vir B) in
- 2-mesečne meritve s podatki o 131.600 tovornih vozilih na odseku Celje-Maribor (vir C).

V prvem primeru je bil tovorni zmeren, v preostalih dveh pa gost. Izmed zbranih podatkov smo uporabili osne pritiske, medosne razdalje in čase prihodov vozil na most do dveh tisočink sekunde natančno. Zaradi primerjave z rezultati drugih avtorjev smo notranje statične količine računali na hipotetičnih prostoležečih mostovih dolžin med 5 in 45 m.

3 RAČUN PRIČAKOVANIH MAKSYMALNIH NOTRANJIH STATIČNIH KOLIČIN MOSTOV

Namen raziskave je bil razviti časovno in stroškovno učinkovit način računa realnih pričakovanih maksimalnih notranjih statičnih količin cestnih mostov zaradi prometa, ki bi bil primeren tudi za analize manj pomembnih obstoječih, predvsem starejših mostov. Njihova nosilnost je zaradi propadanja in manj zahtevnih pravilnikov v času gradnje po pravilu manjša od zahtevane v veljavnih pravilnikih za nove mostove. Razen v Sloveniji se na takih mostovih do sedaj dejanske prometne obremenitve in posledično bolj optimalni načini računa njihove konstrukcijske varnosti niso uporabljali. Upoštevanje realnih namesto projektnih učinkov prometne obtežbe bistveno poveča učinkovitost upravljanja mostov, posledično se bolj optimalno porabijo omejena finančna sredstva za vzdrževanje infrastrukture. Še večji so prihranki uporabnikov zaradi manj rigoroznih ukrepov na mostovih ter posledičnega zmanjšanja prometnih zastojev.

Robustnost določitve pričakovanih maksimalnih notranjih statičnih količin mostov zaradi prometa predstavlja poseben izziv. V literaturi poznane metode zahtevajo množico predpostavk, povezanih z vhodnimi podatki, kar povečuje raztros dobljenih rezultatov. V predlagani metodi konvolucije smo možnost izbire parametrov omejili z uporabo robustnih statističnih metod, ki ne zahtevajo detajlnega in subjektivnega modeliranja vhodnih podatkov.

Za mostove kratkih in srednjih razpetin, ki jih je v Evropi več kot 90 % ([SAMARIS D19, 2006], [Žnidarič, 2011]), je ključen tekoči promet brez zastojev. Kritični dogodki, ki povzročijo velike upogibne momente ali prečne sile v prerezihih mostu, so posledica bodisi enega samega zelo težkega vozila ali več sočasno vozečih lažjih vozil ([Enright, 2013], [Žnidarič, 1998]). Na krajših mostovih z razponom do 10 m lahko kritični dogodek povzroči le nekaj osi na mostu. Za razpone, daljše od 50 m, so tovrstni dogodki povezani z zastoji in gnečo na mostu.

Za izračun karakterističnih vrednosti notranjih statičnih količin najpogosteje uporabimo statistične ekstrapolacije rezultatov meritev WIM, ki jih najprej z vplivnicami pretvorimo v notranje statične količine [Žnidarič, 2017b]. Tudi največje vrednosti momentov in sil, izračunane na podlagi rezultatov WIM, so gotovo nižje, kot jih pričakujemo v preostali življenjski dobi mostu. Posledično izmerjene podatke WIM ali iz njih izraču-

nane notranje statične količine ekstrapoliramo, največkrat s porazdelitvami ekstremnih vrednosti. Alternativno nekateri avtorji ([Enright, 2010], [Enright, 2013]) priporočajo dolgotrajne numerične simulacije prometa s stotinami milijonov vozil, ki na podlagi meritev WIM generirajo kombinacije vozil, ki dajo višje notranje statične količine mostu.

Ne glede na uporabljeno metodo na rezultate najbolj vplivajo podatki z repov porazdelitev, ki vključujejo najtežja vozila. Pomembna značilnost prometa je število zelo težkih izrednih prevozov, ki imajo po pravilu posebne dovolilnice in bi se morali obravnavati posebej. Delež teh vozil v prometnem toku in način njihove kontrole se od države do države razlikuje, kar pomembno kroji rezultate modeliranja prometnih obtežb in posledično notranjih statičnih količin.

Na rezultate modeliranja bistveno vplivajo tudi dinamične obremenitve mostu zaradi vozil in porazdelitev prometne obtežbe med nosilne elemente oziroma koliko obtežbe dejansko prevzame posamezni nosilni element [Žnidarič, 2019].

3.1 Metoda konvolucije

Metoda konvolucije se že vrsto let uporablja za modeliranje pričakovanih maksimalnih notranjih statičnih količin mostov zaradi prometne obtežbe, predvsem upogibnih momentov v sredini razpetine. Vplivi iz sosednjih pasov na upogibne momente in prečne sile nad podporo so namreč praviloma bistveno manjši zaradi neposrednega vnosa obtežbe v podporo. Tehnika je računsko neprimerno manj zahtevna od računskih simulacij, kjer preko mostu spuščamo množice na modelih temelječih vozil in iščemo maksimalne učinke na konstrukcijo. Že Moses in Verma [Moses, 1987] sta pokazala, da daje konvolucija podobne rezultate kot simulacije Monte Carlo, če velja predpostavka neodvisnega prometa v dveh sosednjih pasovih. Tudi v Sloveniji metodo konvolucije uporabljamo več kot 25 let ([Žnidarič, 1994], [Žnidarič, 1997], [Žnidarič, 2010], [Žnidarič, 2019]).

Metoda predpostavlja, da so največji učinki obtežbe posledica po enega vozila iz dveh sosednjih pasov, ki se srečata na mostu. Ta predpostavka velja za mostove preko ene ali več razpetin, katerih skupna dolžina vplivnice je krajša od približno 40 m. Ob predpostavki neodvisnega prometa v obeh pasovih verjetnostno funkcijo za vsoto dveh slučajnih spremenljivk X in Y , ki lahko predstavljata izmerjene obtežbe ali izračunane notranje statične količine, izrazimo kot:

$$f_z(z) = \sum_{k=1}^n f_x(k) f_y(z - k), \quad (2)$$

kjer sta f_x in f_y verjetnostni funkciji obtežbe ali notranje statične količine v dveh sosednjih pasovih, f_z je verjetnostna funkcija vsote vplivov z obeh pasov, n pa je število vseh vrednosti iz zaloge vrednosti slučajne spremenljivke X . Po teoriji porazdelitev ekstremnih vrednosti dobimo porazdelitveno funkcijo največje vrednosti, če damo osnovno porazdelitveno funkcijo na potenco N_T . Pri tem je N_T število srečanj tovornih vozil na mostu (ang. *multiple-presence* ali *MP events*) v obravnavanem časovnem obdobju. Določimo jih z izrazom [Ang, 2006]:

$$N_T = N_{MP} N_Y N_P, \quad (3)$$

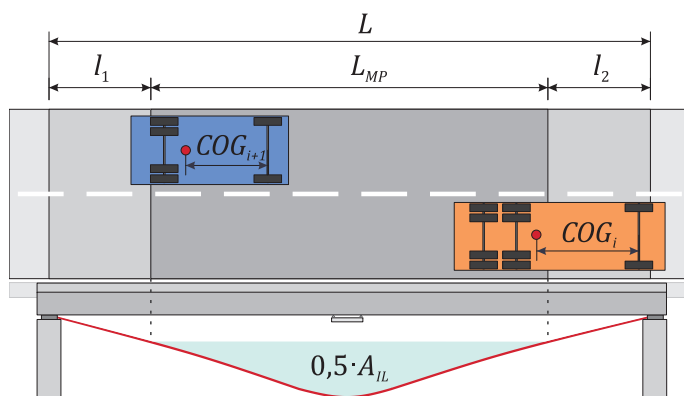
kjer je N_{MP} dnevno število dogodkov MP, N_Y število upoštevanih

dni v letu (običajno 250 delovnih dni), N_P pa je upoštevano število let.

Teoretično bi dogodek MP najbolj natančno določili s seštevanjem časovnih potekov notranjih statičnih količin zaradi vozil z obeh pasov. Najprej bi iz izmerjenih osnih pritiskov, medosnih razdalj in hitrosti ter uporabljene vplivnice izračunali časovni potek momentov ali prečnih sil. Pogoju za MP bi zadostili, če bi bila maksimalna vrednost seštetega poteka zaradi dveh vozil večja od maksimalnih vrednosti zaradi posameznih vozil v dogodku. Za kolikor toliko pravilen izračun bi morali poznati dejanske raznose obtežbe na sosednje prometne pasove, kar je mogoče izmeriti ali modelirati. Žal je postopek računsko zahteven in zaradi pomanjkljivega podatka o dejanskem prečnem položaju vozil na mostu, razen v katerem prometnem pasu vozijo, nenatančen.

Večina avtorjev ([Moses, 1979], [Enright, 2013]) za račun MP upošteva celotno dolžino vplivnice. Tak pristop je konservativen, ker upošteva za prispevek k določitvi maksimalnih pričakovanih notranjih sil tudi dogodke, ko so vozila na začetku ali koncu mostu in so posledično skupni upogibni momenti manjši od upogibnega momenta zaradi enega samega vozila na mestu maksimalnih obremenitev. Da bi se izognili tem nepomembnim dogodkom, smo predlagali izkustveno metodo, kjer določimo dogodek MP iz pogoja, da težišči zaporednih vozil v sosednjih pasovih, COG_i in COG_{i+1} , ležita znotraj efektivne dolžine vplivnice L_{MP} [Žnidarič, 2017a]. Vplivnico definiramo kot funkcijsko vrednost notranje statične količine na izbranem mestu na konstrukciji, tipično na mestu maksimalne vrednosti izbrane statične količine, zaradi premikajoče se enotske obtežbe. Pri upogibnih momentih na mostovih z eno razpetino je to mesto po pravilu v sredini razpetine. Realne vplivnice se zaradi »neidealnih« robnih pogojev in debeline prekladne konstrukcije razlikujejo od teoretičnih računskih vplivnic, zato jih v praksi kalibriramo z uporabo rezultatov B-WIM ali podobnih meritev odziva konstrukcije pod prometno obtežbo.

L_{MP} definiramo kot del dolžine vplivnice, ki celotno površino pod njo, A_{IL} , razdeli na dve polovici. Če je posamezno vozilo zunaj območja L_{MP} , privzamemo, da je prispevek vozila k notranji statični količini zaradi dveh vozil manjši od prispevka enega vozila v najbolj neugodnem položaju na mostu, in se dogodek MP ne zgodi. Za realne mostove preko ene razpetine znaša L_{MP} za upogibne momente (slika 1) med 0,5 in 0,7 celotne dolžine



Slika 1. Določitev efektivne dolžine vplivnice L_{MP} v odvisnosti od njene oblike za most čez eno razpetino.

vplivnice. Postopek zaradi različnih tež in konfiguracij vozil v sosednjih pasovih ter omejenih podatkov o točnem položaju vozil na mostu ni povsem natančen. Posledično se nekateri mejni dogodki izpustijo in drugi neupravičeno prištejejo. Ker pa je pri računu parametra N_{MP} upoštevanih nekaj 10.000 do 100.000 vozil, lahko sklepamo, da je dobljeni rezultat zelo dober približek dejanskemu številu srečanj, brez dogodkov z vozili na začetku ali koncu razpetine.

Zaporedje dveh vozil opredelimo kot MP, če se obe njuni težišči v nekem trenutku nahajata v območju L_{MP} . Najprej izračunamo čase, ko zaporedni vozili, i in $i+1$, ki vozita v isto smer, to območje dosežeta in zapustita:

$$t_{i,1} = T_i + \frac{l_1 + COG_i}{v_i}, \text{ čas vozila } i \text{ na začetku } L_{MP}$$

$$t_{i,2} = T_i + \frac{L - l_2 + COG_i}{v_i}, \text{ čas vozila } i \text{ na koncu } L_{MP}$$

$$t_{i+1,1} = T_{i+1} + \frac{l_1 + COG_{i+1}}{v_{i+1}}, \text{ čas vozila } i+1 \text{ na začetku } L_{MP}$$

$$t_{i+1,2} = T_{i+1} + \frac{L - l_2 + COG_{i+1}}{v_{i+1}}, \text{ čas vozila } i+1 \text{ na koncu } L_{MP}$$

kjer so:

l_1, l_2 razdalji v skladu s sliko 1, v m,

T_i, T_{i+1} časa prihodov prvih osi zaporedno zaznanih vozil na začetek mosta, v s,

v_i, v_{i+1} hitrosti obeh vozil, v m/s, in

COG_i, COG_{i+1} oddaljenosti težišč obeh vozil od prvih osi, v m.

Če vozilo $i+1$ vozi v nasprotni smeri, se enačbi za to vozilo ustrezno prilagodita:

$$t_{i+1,1} = T_{i+1} + \frac{l_2 + COG_{i+1}}{v_{i+1}}, \text{ čas vozila } i+1 \text{ na začetku } L_{MP} \quad (5)$$

$$t_{i+1,2} = T_{i+1} + \frac{L - l_1 + COG_{i+1}}{v_{i+1}}, \text{ čas vozila } i+1 \text{ na koncu } L_{MP}$$

Vsi podatki, razen l_1 in l_2 , so zbrani v bazah meritev WIM. Za doseganje primerne natančnosti je treba čase prihodov meriti vsaj na stotinko sekunde natančno, česar vsi cestni sistemi WIM ne zagotavljajo. Vse meritve B-WIM, opisane v članku, smo zajemali z intervalom 1/512 s.

Če vozilo i doseže območje L_{MP} pred vozilom $i+1$, je pogoj za MP izpolnjen, če velja:

$$t_{i+1,1} < t_{i,2}, \quad (6)$$

v nasprotnem primeru pa, če velja:

$$t_{i,1} < t_{i+1,2}. \quad (7)$$

Realne vrednosti N_{MP} se v odvisnosti od gostote prometa in dolžine vplivnice gibljejo med nekaj do nekaj sto dogodki na dan.

3.2 Povratna doba

Če je verjetnost, da slučajna spremenljivka Z v poljubnem letu preseže določeno vrednost z , enaka p , potem je povratna doba $R(Z)$ definirana kot ([Ang, 2006], [Enright, 2010]):

$$R(Z) = \frac{1}{p} \Leftrightarrow p = \frac{1}{R(Z)}. \quad (8)$$

Verjetnost, da Z v N_Y letih ne preseže določene vrednosti z , je enaka:

$$P[Z \leq z \text{ v } N_Y \text{ letih}] = P[Z \leq z \text{ v enem letu}]^{N_Y} = (1 - p)^{N_Y} =$$

$$\left(1 - \frac{1}{R(Z)}\right)^{N_Y} = (1 - \alpha), \quad (9)$$

kjer je α verjetnost, da slučajna spremenljivka Z v N_Y letih vsaj enkrat preseže vrednost z . Od tod izpeljemo poznano enačbo za povratno dobo:

$$R(Z) = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)^{1/N_Y}} \quad (10)$$

Če na primer izberemo, da sta $\alpha = 5\%$ in $N_Y = 50$ let, je povratna doba $R(Z)$ enaka 975,3 leta. Če sta $R(Z) \gg 1$ in $N_Y < R(Z)$, lahko enačbo (10) poenostavimo:

$$\alpha = 1 - (1 - p)^{N_Y} = 1 - \left(1 - \frac{1}{R(Z)}\right)^{N_Y} \approx 1 - e^{-\frac{N_Y}{R(Z)}} \quad (11)$$

in dobimo pogosto uporabljeni približek:

$$R(Z) \approx -\frac{N_Y}{\ln(1 - \alpha)} \approx \frac{N_Y}{\alpha}. \quad (12)$$

Za ta primer je v Evrokodu [SIST, 2006] podana približna vrednost povratne dobe 1000 let.

3.3 Ekstrapolacija s porazdelitvami ekstremnih vrednosti

Z meritvami WIM vedno zajamemo končno število podatkov o vozilih, med katerimi zelo verjetno ni tistih, ki bodo v preostali življenjski dobi mostu povzročile maksimalne notranje statične količine zaradi prometa. Zato je treba razpoložljive podatke bodisi ekstrapolirati ali jih uporabiti v numeričnih simulacijah, katerih rezultat bodo tovrstni bolj neugodni obtežni dogodki.

Statistična ekstrapolacija s porazdelitvami ekstremnih vrednosti je najbolj pogost postopek za napovedovanje maksimalnih pričakovanih učinkov prometne obtežbe v izbranem obdobju. Izhajamo iz porazdelitve maksimalnih vrednosti notranjih statičnih količin v nekem obdobju, ki jih izračunamo iz meritev WIM. Najbolj pogosto za verjetnostno funkcijo, za katero uporabimo maksimalne dnevne ali maksimalne letne vrednosti, uporabimo normalno porazdelitev ali Gumbelovo porazdelitev ekstremnih vrednosti. Rezultate prikažemo na verjetnostnem papirju ali diagramu z izbrano funkcijo na ordinati. Če vrednosti iz repa porazdelitvene funkcije sledijo izbrani funkciji, z linearno interpolacijo skozi te vrednosti odčitamo pričakovan upogibni moment ali silo v skladu z izbrano povratno dobo.

3.3.1 Odčitavanje rezultatov

Pri obravnavi dnevni ali letni maksimalni vrednosti je z vrednost, ki je slučajna spremenljivka v enem dnevu oziroma letu ne bo presegla z verjetnostjo $(1-p)$:

$$P[Z \leq z] = F_z(z) = 1 - p \rightarrow z = F_z^{-1}(1 - p) = F_z^{-1}\left(1 - \frac{1}{R(Z)}\right), \quad (13)$$

kjer je F_z porazdelitvena funkcija za dnevne ali letne maksimalne vrednosti.

Če na primer poznamo maksimalne letne vrednosti upogibnih momentov ali prečnih sil, lahko ob predpostavki Gumbelove porazdelitve karakteristično vrednost, ki je slučajna spremen-

ljivka Z za povratno dobo 975,3 leta oz. 1000 let ne preseže, izračunamo po enačbi:

$$z = F_Z^{-1}(1-p) = F_Z^{-1}\left(1 - \frac{1}{975,3}\right) = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{975,3}\right)\right) = 6,88 \approx -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{1000}\right)\right) = 6,91. \quad (14)$$

Pri ocenah vpliva prometa na podlagi podatkov WIM bolj pogosto uporabimo maksimalne dnevne vrednosti. Če upoštevamo 5 % verjetnost dnevnega preseganja in 250 delovnih dni na leto, znaša povratna doba za obdobje 50 let:

$$R(Z) = \frac{1}{1 - (1 - \alpha)^{1/N}} = \frac{1}{1 - (1 - 0,05)^{1/50 \cdot 250}} = 243\,697 \text{ dni} \quad (15)$$

ali z uporabo približnega pristopa:

$$R(Z) \approx \frac{N_Y}{\alpha} = \frac{50 \cdot 250}{0,05} = 250\,000 \text{ dni}. \quad (16)$$

V tem primeru je ob upoštevanju Gumbelove porazdelitve vrednost, ki je slučajna spremenljivka ne preseže, enaka:

$$z = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{243697}\right)\right) = 12,40 \approx -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{250000}\right)\right) = 12,43 \quad (17)$$

Primer na sliki 2 prikazuje porazdelitveno funkcijo maksimalnih dnevni upogibnih momentov, ki smo jih izračunali z množenjem osnih pritiskov iz vira podatkov A in 25 m dolge vplivnice mostu. Dobljeni rezultati so ekstrapolirani iz različnega števila podatkov iz repa porazdelitve. Če na primer želimo dobiti upogibni moment s 75-letno povratno dobo, ob upoštevanju 250 delovnih dni v letu, karakteristično vrednost odčitamo pri ordinati:

$$z = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{75 \cdot 250}\right)\right) = 9,84. \quad (18)$$

Slučajna spremenljivka Z se porazdeljuje po normirani Gumbelovi porazdelitvi ($u=0$ in $b=1$), medtem ko se slučajna spremenljivka M , ki predstavlja upogibni moment, porazdeljuje po Gumbelovi porazdelitvi s parametroma $u \neq 0$ in $b \neq 1$:

$$m = u - \frac{1}{b} \ln(-\ln(1-p)) = u + \frac{z}{b}, \quad (19)$$

kjer parametra u in b izračunamo z linearno ekstrapolacijo, kot je prikazano na sliki 2. Različni avtorji predlagajo različna števila podatkov iz repa verjetnostne funkcije, ki jih uporabimo za ekstrapolacijo, od 5 % N_Y [Sivakumar, 2011] do 30 % N_Y [OBrien, 2010], in funkcije $2\sqrt{N_Y}$ [Castillo, 1988], kjer je N_Y število vseh upoštevanih maksimalnih vrednosti. Posledično subjek-

tivna izbira števila N_Y bistveno vpliva na ekstrapolirane vrednosti notranjih sil. V primeru na sliki 2, ki prikazuje porazdelitev 687 maksimalnih dnevni upogibnih momentov, se karakteristične vrednosti upogibnih momentov, odčitane pri $z=9,84$, gibljejo med 2580 in 2885 kNm. Da bi zmanjšali vpliv subjektivne izbire parametrov pri ekstrapolaciji notranjih sil, smo za mostove razpetin do 45 m raziskali možnost uporabe metode konvolucije.

3.3.2 Obdelava vhodnih podatkov

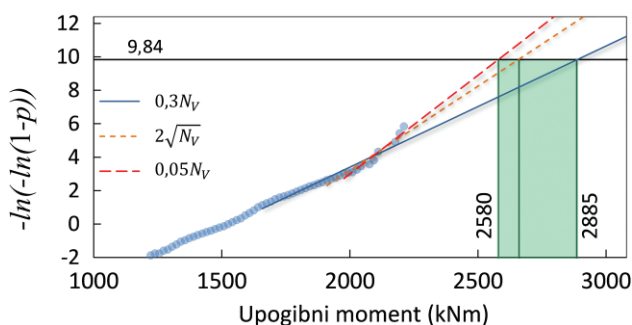
Postopek ekstrapolacije se začne s prilagoditvijo izmerjenih podatkov. Poznamo tri načine, parametrično prilagajanje na osnovi vseh podatkov, parametrično prilagajanje na osnovi dela podatkov in neparametrično prilagajanje. V prvem načinu iščemo parametre ene ali več porazdelitev, ki najbolje opišejo vse izmerjene podatke. V zadnjem načinu v analizi upoštevamo surove podatke. V srednjem načinu, ki se pri modeliranju prometnih obtežb zaradi dejstva, da so za analize mostov pomembne samo največje obtežbe, največ uporabljajo, pa prilagodimo modelirano funkcijo izbranemu številu podatkov iz repa porazdelitve.

Rezultat je odvisen od števila točk in funkcije, ki jo izberemo za ekstrapolacijo. Da bi se izognili subjektivnosti, smo izbrali prilagajanje funkcije nadomestili z glajenjem izmerjenih podatkov. Za glajenje smo uporabili različne kernelove funkcije gostote [Corbally, 2014], ki smo jih upoštevali preko celotne porazdelitve. Bistvo kernelovega postopka je, da vsak podatek nadomestimo s funkcijo, največkrat z Gaussovo, kvadratno ali trikotno. Obliko funkcije in širino glajenja levo in desno od podatka definirajo parametri. Za Gaussovo funkcijo je to pasovna širina h :

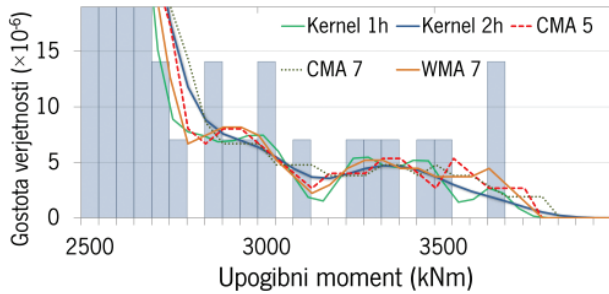
$$h = \left(\frac{4\sigma^5}{3n}\right)^{1/5} \approx 1.06 \sigma n^{-0,2}, \quad (20)$$

kjer je n število podatkov v vzorcu, σ pa njihov standardni odklon. Za kvadratno (ang. *Central Moving Average* ali *CMA*) in trikotno drseče povprečje (ang. *Triangular Weighted Moving Average* ali *WMA*) izberemo število točk, ki jih povprečimo v posameznem koraku [Press, 2007]. Prispevke funkcij seštejemo, da dobimo poglajeni približek osnovne porazdelitve gostote verjetnosti. Postopek je ilustriran v [Žnidarič, 2017a].

Izbira funkcije glajenja in njenih parametrov, če so zmerni, ne vpliva bistveno na končne rezultate. Glavni namen glajenja je, da premosti pogosto pomanjkljive podatke meritev WIM v repu porazdelitve, zaradi omejenega števila izmerjenih ekstremnih dogodkov. Posledično bolj zanesljivo odčitamo karakteristične vrednosti. Slika 3 prikazuje primer močno povečane funkcije gostote verjetnosti repa upogibnih momentov, izračunanih iz vira podatkov A in vplivnice na 25 m dolgem prostoležečem mostu. Ne glede na izbor funkcije in parametrov za glajenje – prikazani so rezultati uporabe dveh Gaussovih kernelovih funkcij, dveh kvadratnih in enega trikotnega drsečega povprečja – so razlike majhne. Posledično so majhne tudi razlike v rezultatih modeliranja notranjih statičnih količin.



Slika 2. Ekstrapolacija upogibnih momentov, Gumbelov verjetnostni papir, različno število upoštevanih podatkov.



Slika 3. Primer uporabe različnih funkcij za glajenje upogibnih momentov, izračunanih iz rezultatov WIM.

3.4 Karakteristične vrednosti notranjih statičnih količin

Pri projektiranju ali analizi konstrukcij potrebujemo karakteristične vrednosti notranjih statičnih količin zaradi prometnih obtežb. Evrokod [SIST, 2006] jih določa pri povratni dobi 975,3 oz. 1000 let. V ZDA [AASHTO, 2012] in Kanadi [OHBCD, 1979, 1983, 1991] uporabljajo pričakovano srednjo vrednost 75-letnih ali 50-letnih obremenitev ([Nowak, 1993], [Nowak, 1994]) ali 75-letno povratno dobo, ki ustreza dogodku, da je vrednost obremenitev presežena enkrat v 75 letih. Te vrednosti so si blizu, vendar niso enake. Zaradi lažjih primerjav z rezultati iz literature [Enright, 2016] smo v analizah uporabljali 75-letno povratno dobo.

Predpostavimo torej, da poznamo maksimalne letne vrednosti notranjih statičnih količin, X , in njihovo porazdelitveno funkcijo F_X :

$$F_X(X) = P(X \leq x) \quad (21)$$

Če letne maksimume razvrstimo v bloke po 75 let, potem je porazdelitvena funkcija maksimuma 75-letnih vrednosti, $G(x)$, enaka [Ang, 2006]:

$$G(x) = F_X^{75}(x) \quad (22)$$

Notranjo statično količino s 75-letno povratno dobo (X_{75}) za 75-letni blok (ali za 75-letno življenjsko dobo) izračunamo z enačbo:

$$X_{75} = F_X^{-1}\left(1 - \frac{1}{R(Z)}\right) = F_X^{-1}\left(1 - \frac{1}{75}\right) = F_X^{-1}(0,987) \quad (23)$$

oziroma:

$$X_{75} = G^{-1}\left(\left(1 - \frac{1}{R(Z)}\right)^{N_Y}\right) = G^{-1}\left(\left(1 - \frac{1}{75}\right)^{75}\right) = G^{-1}(0,365) \quad (24)$$

Notranjo statično količino s 75-letno povratno dobo za 75-letno življenjsko dobo iz porazdelitvene funkcije torej odčitamo pri ordinati 0,365.

Podobno bi notranjo statično količino s 1000-letno povratno dobo in 50-letno življenjsko dobo konstrukcije v skladu z Evrokodom odčitati pri:

$$X_{1000} = G^{-1}\left(\left(1 - \frac{1}{1000}\right)^{50}\right) = G^{-1}(0,951) \quad (25)$$

3.5 Primer rezultatov računa konvolucije

Slika 4 prikazuje faze računa upogibnih momentov z metodo konvolucije. Uporabili smo vir podatkov A in izmerjene osne pritiske ob upoštevanju medosnih razdalj pomnožili s vplivnico upogibnih momentov na sredini prostoležečega mostu dolžine 25 m. Na diagramih (a) in (b) sta podani funkciji gostote verjetnosti izračunanih upogibnih momentov zaradi vozil v voznem in prehitevalnem pasu. Na diagramu (c) je podana skupna gostota verjetnosti, izračunana z enačbo (2), na diagramu (d) pa detajl repa iste funkcije. Na diagramu (e) je prikazan rezultat konvolucije za različna časovna obdobja in odčitka pri $G^{-1}(0,365)$, v skladu z enačbo (24), ki daje za 75-letno povratno dobo upogibni moment 2472 kNm, ter pri in $G^{-1}(0,951)$, v skladu z enačbo (25), ki daje za 1000-letno povratno dobo in 50-letno življenjsko dobo upogibni moment 2663 kNm.

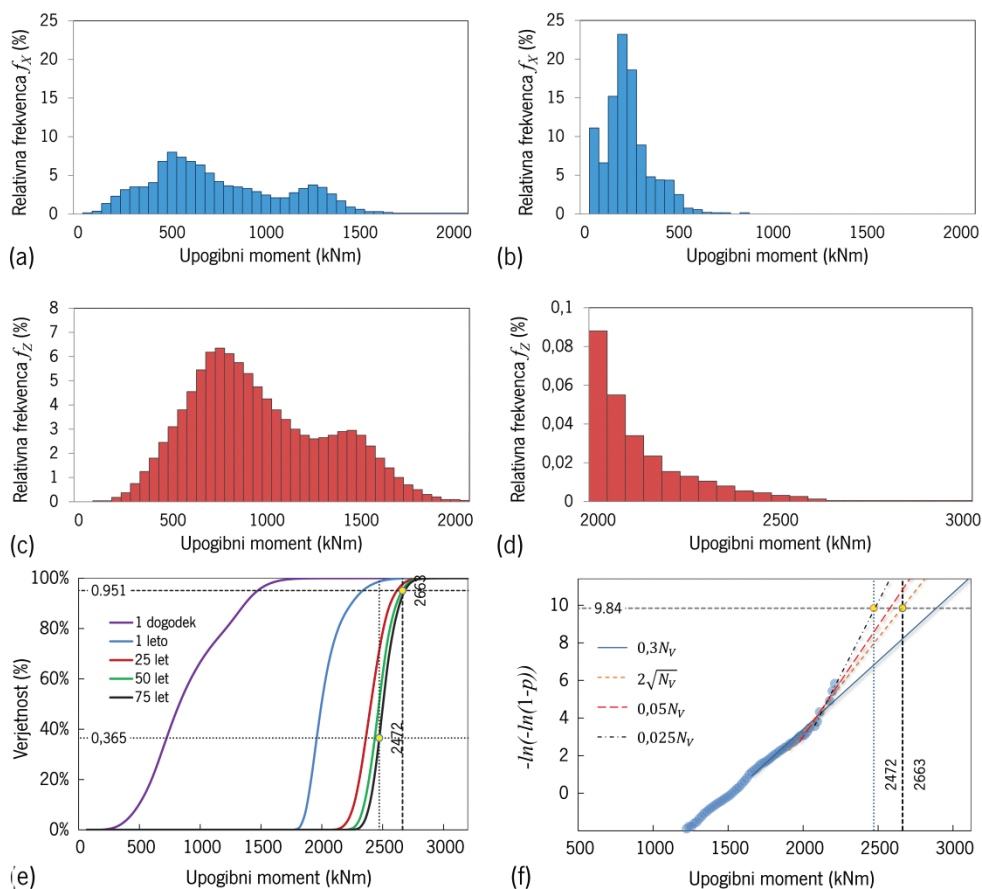
Na diagramu (f) so za primerjavo podani rezultati na Gumbelovem verjetnostnem papirju, kjer so vrednosti na ordinati transformirane po enačbi $-\ln(-\ln(1-p))$. Prikazane so ekstrapolirane premice, izračunane iz v literaturi predlaganih $0,05N_v$, $0,30N_v$ in $2\sqrt{N_v}$ ([Castillo, 1988], [Enright, 2013]), kjer je N_v celotno število vseh maksimalnih dnevnih vrednosti upogibnih momentov, v tem primeru 687. Iz diagrama je očitno, da daje v tem primeru metoda konvolucije pri 75-letni povratni dobi manj konservativne rezultate, ki se z ekstrapolacijo ujema, če upoštevamo zgolj $0,025N_v$ oz. le 17 najvišjih vrednostih iz repa porazdelitve dnevnih upogibnih momentov. Primarni razlog za ujemanje pri nizkem deležu N_v je, da Gumbelova funkcija navzgor ni omejena, teže vozil in posledično največje izmerjene notranje statične količine pa so. V prikazanem primeru zadnjih približno 20 vrednosti vedno slabše sledi predpostavljeni Gumbelovi porazdelitvi. Identični način računa uporabimo za prečne sile in, v primeru več povezanih razpetin, za upogibne momente nad podporo. Detajlni postopek računa notranjih statičnih količin z metodo konvolucije je podan v [Žnidarič, 2017a].

3.6 Primerjava rezultatov konvolucije in simulacije

Da bi potrdili ustreznost rezultatov, dobljenih z metodo konvolucije, smo jih primerjali z rezultati simulacije Monte Carlo, ki jih je iz istih podatkov pripravil avtor metode za detajlno numerično simulacijo vplivov prometne obtežbe [Enright, 2016]. Na podlagi porazdelitvenih funkcij in statističnih parametrov, ki jih izpelje iz podatkov WIM, modelira skupne mase, število in pritiske osi, tipe ter medsebojne razdalje vozil. Z generiranjem zaporedij več sto milijonov vozil oz. več desetletij prometa se izogne potrebi po ekstrapolaciji in posledični razpršenosti rezultatov, ki jo kaže primer na sliki 4(f). So pa rezultati zelo odvisni od uporabljenih porazdelitvah funkcij in drugih predpostavk, uporabljenih pri modeliranju vozil.

Pri primerjavi rezultatov konvolucije in simulacije smo uporabili:

- vir podatkov A,
- samo vozila z največ sedmimi osmi, da smo izključili težke izredne prevoze, ki jih je treba obravnavati ločeno,
- dva pasova v isti smeri oz. avtocestni promet,
- račun upogibnih momentov in prečnih sil,
- vplivnice prostoležečih mostov z razpetinami 5, 15, 25, 35 in 45 m.



Slika 4. Gostota verjetnosti upogibnih momentov v (a) voznem in (b) prehodevalnem pasu, (c) gostota verjetnosti skupnih momentov, (d) detajl repa porazdelitve skupnih momentov, (e) rezultati konvolucije za 75-letno in 1000-letno povratno dobo in (f) ekstrapolacije Gumbelove porazdelitve za 75-letno povratno dobo.

Primerjali smo vrednosti notranjih statičnih količin pri 75-letni povratni dobi (preglednica 1).

V povprečju so rezultati simulacije upogibnih momentov za 10,8 %, prečnih sil pa za 3,9 % višji od rezultatov konvolucije. Razlike so večje pri razpetinah pod 35 m, pri daljših so manjše od 2 %. Največje razlike opazimo pri najkrajši razpetini, kjer so

upogibni momenti, izračunani z metodo konvolucije, za 31,5 % nižji od simuliranih vrednosti. Razlike za prečne sile so po pričakovanju manjše.

Glavni razlog za razlike so simulirana vozila, ki so občutno težja od izmerjenih. V preglednici 2 so izbrani podatki o simuliranih vozilih, ki so povzročila največje upogibne momente [Enright, 2016]. O količini simuliranih vozil priča podatek, da bi se eno vozilo pojavilo šele leta 2079. Prva dva dogodka sta posledica srečanja dveh tovornih vozil na mostu, preostalih osem enega samega vozila. Za 25-metrsko razpetino so vsa najbolj neugodna tovorna vozila 4-osna, s skupno maso med 68 in 73 tonami. Skupna masa najtežjega vozila je za 16 % večja od najtežjega tovrstnega izmerjenega vozila, ki je tehtalo 62,7 tone, naslednja štiri so tehtala le med 51,7 in 57,2 tone. Poleg tega znašajo osni pritiski prvih dveh osi vseh teh vozil med 17 in 29 ton, medtem ko izmerjeni osni pritiski v nobenem primeru niso presegali 10,5 tone po osi. Dodatno je 57 % medosnih razdalj simuliranih vozil krajših od dejanskih, kar dodatno povečuje notranje statične količine. Vse pretirane simulirane vrednosti so v preglednici 2 osenčene.

Posledično dobimo z metodo konvolucije, ki bolj dosledno upošteva izmerjene teže in karakteristike realnih tovornih vozil, manj konservativne rezultate kot s simulacijami. Pri slednjih so razlike zelo odvisne od predpostavk in porazdelitvenih funkcij, uporabljenih pri generiranju prometa.

Razpetina (m)	5	15	25	35	45
Upogibni momenti (kNm)					
Simulacija	312,5	1433	2676	3882	5233
Konvolucija	214,2	1255	2485	3810	5173
Razmerje	0,685	0,876	0,928	0,981	0,989
Prečne sile (kN)					
Simulacija	281,8	387,4	435,7	463,7	482,0
Konvolucija	245,8	366,9	429,7	462,3	482,4
Razmerje	0,872	0,947	0,986	0,997	1,001

Preglednica 1. Primerjava notranjih statičnih količin, izračunanih pri 75-letni povratni dobi s konvolucijo in simulacijo.

Dogodek	Datum	Upogibni moment (kNm)	Hitrost (km/h)	Dolžina (cm)	Vozni pas	Osi	Skupna masa (kg)	Osni pritisk 1 (kg)	Osni pritisk 2 (kg)	Osni pritisk 3 (kg)	Osni pritisk 4 (kg)	Medosna razdalja 1 (cm)	Medosna razdalja 2 (cm)	Medosna razdalja 3 (cm)
1	26.11.49	2 816	104,0	540	1	2	14 500	6 900	7 700			540		
			88,9	490	2	4	72 000	23 100	25 400	11 900	11 600	150	210	130
2	13.08.15	2 762	114,8	440	1	3	22 800	6 600	10 500	5 700		310	130	
			77,4	630	2	4	68 000	19 800	22 600	13 500	12 000	190	300	140
3	02.06.18	2 641	82,8	510	1	4	72 200	25 900	24 600	11 700	10 000	130	230	150
4	27.06.59	2 603	67,0	540	1	4	72 900	22 100	23 800	14 100	12 800	180	230	130
5	17.08.13	2 589	86,0	550	1	4	72 600	23 600	23 300	13 100	12 600	180	240	130
6	23.04.42	2 585	78,8	560	1	4	71 700	24 000	29 200	9 700	8 800	200	230	130
7	25.01.69	2 585	79,2	550	1	4	72 800	22 500	23 700	11 800	14 900	180	240	130
8	03.05.79	2 567	68,8	550	1	4	71 800	23 800	25 000	10 700	12 300	190	230	130
9	21.09.19	2 565	89,3	520	1	4	71 900	17 400	25 800	16 100	12 500	150	240	130
10	03.09.30	2 560	66,6	520	1	4	70 400	27 100	24 700	8 000	10 600	160	220	140

Preglednica 2. Simulirana vozila, ki so povzročila 10 največjih upogibnih momentov na prostoležečem mostu z razpetino 25 m [Enright, 2016].

4 ANALIZA OBČUTLJIVOSTI PARAMETROV

V nadaljevanju smo analizirali parametre, ki vplivajo na rezultate s konvolucijo izračunanih notranjih statičnih količin [Žnidarič, 2017a]:

- glajenje porazdelitev: brez glajenja, z Gaussovo kernelovo funkcijo z različnimi pasovni širinami po enačbi (20), s centralnim in s trikotnim drsečim povprečenjem, oboje s 3, 5, 7 in 15 točkami;
- upoštevanje prometa v vseh ali samo v delovnih dneh,
- (ne)vklučitev težkih posebnih prevozov, opredeljenih kot vozila z več kot sedmimi osmi; v Sloveniji sicer vsako vozilo, katerega masa presega 40 ton, potrebuje posebno dovoljenje;
- število potrebnih podatkov o vozilih iz meritev WIM za zanesljivo določitev vplivov prometne obtežbe; do te analize so bila v svetovni literaturi podana zgolj inženirsko ocenjena priporočila [COST 323, 2006].

4.1 Glajenje porazdelitev

Rezultati kažejo, da nizka stopnja glajenja, do 2h pri Gaussovi funkciji ali do 5-točkovno glajenje pri drsečih povprečjih, minimalno vpliva na rezultate, pomaga pa premostiti vrzeli v repih porazdelitev in omogoča bolj natančno odčitavanje iz porazdelitvenih funkcij (slika 3).

Na splošno so učinki glajenja podobni učinkom modeliranja repov. V obeh primerih so rezultati odvisni od tega, kako model sledi dejanskim podatkom.

4.2 Vpliv izrednih prevozov

Kljub majhnemu deležu zelo težkih tovornih vozil na slovenskih cestah le-ta znatno vplivajo na izračunane pričakovane

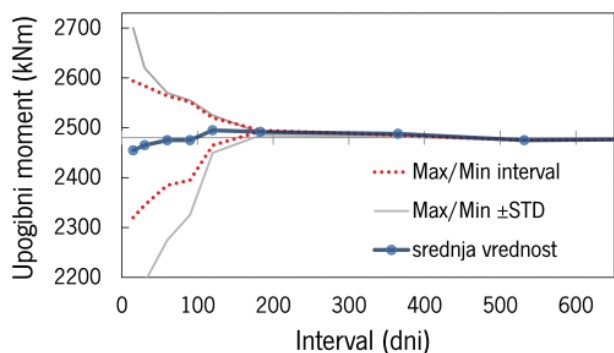
maksimalne notranje statične količine. V primeru vira podatkov B so se le-te povečale za 20 %, čeprav se je v povprečju čez most peljalo samo eno vozilo na dan z več kot sedmimi osmi. Pri modeliranju prometnih obremenitev je zato bistveno, da pridobimo zanesljive podatke o tovrstnih vozilih in da jih v modelu pravilno upoštevamo.

4.3 Vpliv upoštevanih dni v tednu

Z metodo konvolucije izračunane notranje statične količine iz vseh treh virov podatkov kažejo, da upoštevanje podatkov WIM iz različnih dni v tednu (samo delavniki, brez nedelj ali vsi dnevi) minimalno vpliva na izračunane upogibne momente in prečne sile. Ugotovljene največje razlike med izračunanimi karakterističnimi vrednostmi notranjih statičnih količin so bile, ne glede na upoštevane dneve v tednu, manjše od 1,2 %.

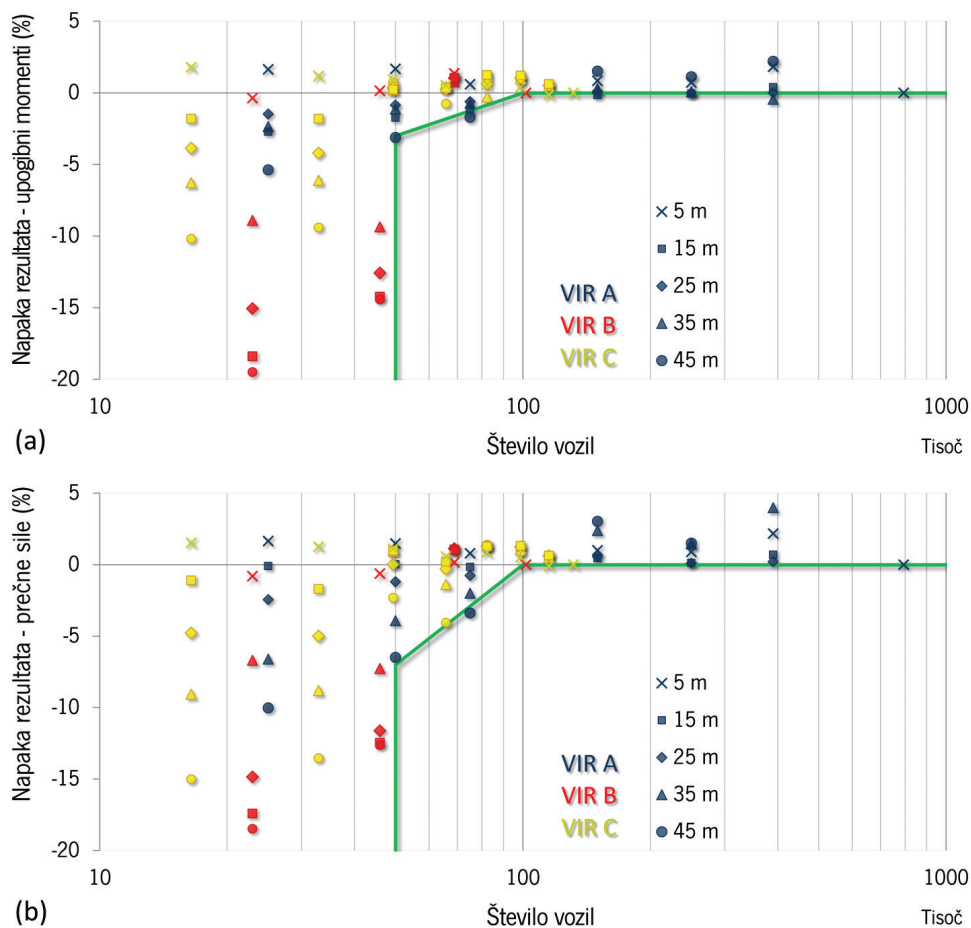
4.4 Vpliv količine podatkov

Da bi ocenili vpliv količine uporabljenih podatkov WIM na rezultate modeliranja notranjih statičnih količin, smo iz treh izmerjenih virov podatkov ter vplivnic na prostoležečih mostovih dolžin 5, 15, 25, 35 in 45 m izračunali notranje statične količine. Rezultate smo razdelili na podatkovne nize zaporednih vozil, ki so vsebovali enako število momentov oz. prečnih sil. Pri tem smo spreminjali velikost uporabljenih nizov. Slika 5 prikazuje za primer srednje vrednosti nizov upogibnih momentov, izračunanih iz osnih pritiskov iz vira podatkov A za prostoležeči most z razpetino 25 m, kjer smo podatke razdelili na 15-dnevne nize, potem na 30-dnevne, 60-dnevne itd. Dodani sta še ovojnic z upoštevanimi standardnimi odkloni ter ovojnic maksimalnih oz. minimalnih vrednosti.



Slika 5. Primer odvisnosti upogibnih momentov od trajanja meritev WIM – vir podatkov A, prostoležeči most razpetine 25 m.

- Podatkovni nizi z manj kot 50.000 vozili lahko podcenijo vrednosti notranjih statičnih količin za 20 %, raztros rezultatov je velik.
- Izjema so najkrajše razpetine (5 m), kjer se upogibni momenti in prečne sile ne spremenijo za več kot 2 % ne glede na velikost nizov. Razlog so ekstremne osne obremenitve 3- in 4-osnih tovornjakov, ki so dovolj dobro zastopane tudi v krajših nizih podatkov. Zelo težka avtodvigala in priklopniki za težke tovore, ki vplivajo na notranje statične količine daljših razpetin, so po drugi strani redki in je njihova prisotnost v krajših nizih bolj ali manj slučajna.
- Srednje vrednosti izračunanih notranjih statičnih količin se približajo končnim vrednostim, če upoštevamo vsaj 100.000 vozil. V teh primerih srednje vrednosti pri vseh raz-



Slika 6. Napake karakterističnih vrednosti (a) upogibnih momentov in (b) prečnih sil v odvisnosti od števila upoštevanih vozil.

Da bi primerjali vpliv števila podatkov na izračunane upogibne momente in prečne sile neodvisno od gostote prometa in vira podatkov, smo rezultate kot na sliki 5, dobljene iz vseh treh virov podatkov in za pet upoštevanih dolžin vplivnice, normirali tako, da smo jih delili s t. i. končnimi vrednostmi, ki smo jih dobili ob upoštevanju največjega razpoložljivega števila podatkov iz primerjanega vira na določeni dolžini vplivnice.

Na podlagi tako izračunanih napak meritev, združenih v diagramih na sliki 6, ugotavljamo:

petinah dosežejo vsaj 99 % končnih vrednosti, koeficienti variacije pa padejo pod 3 %.

- Nizi s 50.000 do 100.000 vozili so pogojno uporabni, bodo pa ob višjih nezanesljivostih rezultatov upogibni momenti oziroma prečne sile, pridobljeni iz teh nizov, lahko za nekaj odstotkov podcenjeni.

Posledično predlagamo, da se za zanesljivo modeliranje notranjih statičnih količin na cestnih mostovih uporabi podatke WIM o vsaj 100.000 tovornih vozilih.

5 ZAKLJUČEK

Prvi cilj raziskave je bil ugotoviti, kako primerna je metoda konvolucije za račun karakterističnih notranjih statičnih količin iz podatkov WIM. Rezultate smo primerjali z rezultati bolj splošno uporabljenih ekstrapolacij porazdelitev ekstremnih vrednosti, predvsem Gumbelove, ter dolgotrajnimi simulacijami Monte Carlo. Ugotavljamo, da so dobljeni rezultati primerljivi, s tem da so rezultati konvolucije bolj robustni, se bolje ujemajo z rezultati meritev dejanskega prometa in nanje subjektivne odločitve pri pripravi vhodnih podatkov bistveno ne vplivajo. Na rezultate ekstrapolacije ekstremnih vrednosti po drugi strani zelo vpliva subjektivna izbira števila podatkov z repa porazdelitve, na rezultate računskih simulacij pa izbira porazdelitvenih funkcij ter parametrov za modeliranje prometa ter vozil. Primerjava rezultatov konvolucije in simulacije je nadalje potrdila, da so ob enakih izhodiščih izračunane notranje statične količine zelo podobne. V konkretnih računskih primerih prostoležečih mostov razpetin 5 do 45 m so razlike nastopile pri krajših razpetinah, ker so bili rezultati simulacije zaradi nerealno težkih modeliranih vozil pretirano konservativni. Pri razpetinah, daljših od 15 m, so razlike padle pod 10 %. Razhajanja so po pričakovanju večja pri upogibnih momentih kot pri prečnih silah. Pri slednjih je napaka pri razpetinah, daljših od 15 m, manjša od 5 %.

V nadaljevanju smo analizirali, kako na izračunane karakteristične notranje statične količine cestnih mostov vplivajo glajenje podatkov, upoštevanje oz. neupoštevanje izrednih prevozov, upoštevanje oz. neupoštevanje vikendov ter količina podatkov WIM. Pokazali smo, da uporabljena metoda glajenja ter upoštevanje vikendov na rezultate bistveno ne vplivata. Po drugi strani je pravilno upoštevanje izrednih prevozov ključno, saj so se v primeru vira podatkov B karakteristične vrednosti upogibnih momentov in prečnih sil povečale za 20 %. Temeljni zaključek raziskave pa je, da potrebujemo za zanesljivo modeliranje notranjih statičnih količin na cestnih mostovih podatke WIM (osne pritiske, medosne razdalje in natančne čase za račun medsebojne oddaljenosti) za vsaj 100.000 težkih tovornih vozil. Viri z manj kot 50.000 podatki dajo pretirano nezanesljive rezultate, pogojno so uporabne baze s podatki o 50.000 do 100.000 vozilih.

6 LITERATURA

AASHTO, LFRD Bridge Design Specifications, American Association for State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2012.

Agarwal, A., Wolkowicz, M., Interim Report on Ontario Commercial Vehicle Survey, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Downsview Ontario, 1976.

Ang, A. H., Tang, W. H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, 2. izd. Somerset: Wiley, 2006.

ARCHES D08, Recommendations on bridge traffic load monitoring, <http://arches.fehrl.org>, 2009.

ARCHES D10, Recommendations on dynamic amplification allowance, <http://www.fehrl.org>, 2009.

Avstro-ogrski imperij, Bauenwürfe für Brücken - Gradnja mostov, Reichsgefeßblatt für die im reichsrat vertretene königreiche und länder., Dunaj, 1904.

Bailey, S., Basic Principles and load models for the structural safety evaluation of existing bridges, Doktorska disertacija št. 1467, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, 1996.

Cantieni, R., Dynamic load tests on highway bridges in Switzerland - 60 Years experience of EMPA, EMPA Report No. 211, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Dübendorf, 1994.

Caprani, C., Probabilistic Analysis of Highway Bridge Traffic Loading, Doktorska disertacija, University College Dublin, 2005.

Caprani, C., Lifetime Highway Bridge Traffic Load Effect from a Combination of Traffic States Allowing for Dynamic Amplification, Journal of Bridge Engineering, 18(9), 901-909, 2013.

Castillo, E., Extreme Value Theory in Engineering, Academic Press, New York, 1988.

Cooper, D., The determination of highway bridge design loading in the United Kingdom from traffic measurements, Zbornik First European Conference on Weigh-in-Motion of Road Vehicles, ETH, Zürich, 1995.

Corbally, R., Žnidarič, A., Cantero, D., Hajializadeh, D., Kalin, J., Leahy, C., Zupan, E., Algorithms for Improved Accuracy of Static Bridge-WIM System, Poročilo D1.3 projekta Bridgemon, ROD, Dublin, 2014.

Crespo-Minguillón, C., Casas, J., A comprehensive traffic load model for bridge safety checking, Structural Safety, Zvezek 19, 339-359, 1997.

Enright, B., Simulation of traffic loading on highway bridges, Doktorska disertacija, University College Dublin, 2010.

Enright, B., Output from traffic simulation based on WIM data from site near Ljubljana. Dublin: neobjavljen dokument, 2016.

Enright, B., O'Brien, E. J., Monte Carlo simulation of extreme traffic loading on short and medium span bridges, Structure and Infrastructure Engineering, 9(12), 1267-1282, 2013.

Enright, B., O'Brien, E. J., Dempsey, T., Extreme traffic loading in bridges, Proceedings of IABMAS 2010 conference. Philadelphia, USA, 2010.

Fu, G., Hag-Elsafi, O., Bridge Evaluation for Overloads Including Frequency of Appearance, Applications of Statistics and Probability, ed. Favre and Mébarki, 687-692 1995.

Getachew, A., Traffic Load Effects on Bridges, Doktorska disertacija, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2003.

Ghosn, M., Moses, F., Reliability Calibration of Bridge Design Code, Journal of Structural Engineers ASCE, 112(4), 745-763, 1986.

Ghosn, M., Xu, Q., Estimating Bridge Dynamics Using the Weigh-in-Motion Algorithm, Washington DC: Transportation Research Record, 1989.

González, A., Rattigan, P., O'Brien, E., Caprani, C., Determination of bridge life-time dynamic amplification factor using finite element analysis of critical loading scenarios, Engineering Structures, 30, 2330-2337, 2008.

- Grave, S., Modelling of Site-Specific Traffic Loading on Short to Medium Span Bridges, Doktorska disertacija, Trinity College Dublin, 2001.
- Kalin, J., Žnidarič, A., Kreslin, M., Calculation of optimised bridge dynamic amplification factor using bridge weigh-in-motion data, Foz do Iguacu, Brazil, IABMAS, 313-319, 2016.
- Kalin, J., Žnidarič, A., Anžlin, A., Kreslin, M. Measurements of bridge dynamic amplification factor using bridge weigh-in-motion data, Structure and infrastructure engineering, 1-13, 2021
- Kirkegaard, P., Neilsen, S., Enevoldsen, I., Heavy vehicles on minor highway bridges - calculation of dynamic impact factors from selected crossing scenarios, ISSN 1395-7953 R9722, Aalborg University, 1997.
- Kraljevina Jugoslavija, Predpisi za cestne mostove, Uradni list Kraljevine Jugoslavije, Beograd, 1933.
- Kraljevina Jugoslavija, Predpisi za cestne mostove. Dodatek: koeficient sunka, 2, Uradni list Kraljevine Jugoslavije, Beograd, 1936.
- Melchers, R. E., Structural Reliability Analysis and Prediction, 2. izd., Wiley, New York, 1999.
- Moses, F., Weigh-in-Motion system using instrumented bridges, ASCE Transportation Engineering Journal, 105(3), 233-249, 1979.
- Moses, F., Verma, P., Load Capacity Evaluation of Existing Bridges, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) - Report No. 301, Washington D.C., 1987.
- Nowak, A., Hong, Y., Bridge live load models, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117(9), 2757-2767, 1991.
- Nowak, A. S., Live load model for highway bridges, Structural Safety 1993(13), 53-66, 1993.
- Nowak, A. S., Grouni, N. H., Calibration of the Ontario Bridge Design Code 1991 edition, Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 21(1), 25-35, 1994.
- O'Brien, E., Caprani, C., Žnidarič, A., Quilligan, M., Site-specific probabilistic bridge load assessment, Shanghai, China, Thomas Telford, 341-348, 2003.
- O'Brien, E. J., Enright, B., Getachew, A., Importance or the tail in truck weight modelling for bridge assessment, Journal of Bridge Engineering, 210-213, 2010.
- O'Connor, A., Probabilistic Traffic Load Modelling for Highway of Bridges, Doktorska disertacija, Trinity College Dublin, 2001.
- OHBD, Ontario Highway Bridge Design Code, Ontario Ministry of Transportation, Downsview, 1979, 1983, 1991.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, 3. izd. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- PTP-5, Privremeni Tehnički Propisi za opterećenje mostova na putevima, Uradni list FLRJ, Beograd, 1949.
- Ralbovsky, M., McRobbie, S., Šajna, A., Leban Bajt, M., Sekulić, D., Žnidarič, A., Final report of advanced bridge monitoring techniques, TRIMM D3.2 report, <https://www.fehrl.org/library?id=7234#>, AIT Vienna, 2014.
- SAMARIS D19, State of the art report on assesment of structures in selected EEA and CE countries, <http://www.fehrl.org>, 2006.
- SAMARIS D30, Guidance for the optimal assessment of highway structures, <http://www.fehrl.org>, 2006.
- SIST, SIST EN 1991-2:2006, Evrokod 1, Vplivi na konstrukcije - 2. del: Prometna obtežba mostov, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2006.
- Sivakumar, B., Ghosn, M., Moses, F., NCHRP report 683 - Protocols for collecting and using traffic data in bridge design, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2011.
- WAVE, Weigh-in-Motion of Axles and Vehicles for Europe, General report, LCPC, Paris, 2002.
- Žnidarič, A., Žnidarič, J., Terčelj, S., Određivanje težine teretnih vozila u toku vožnje preko konstrukcije mosta, SDGK, 321-326, Cavtat, 1991.
- Žnidarič, A., Kontrola varnosti obstojećih mostov. Gradbeni vestnik, 45(8), 223-230, 1996.
- Žnidarič, A., Moses, F., Structural Safety of Existing Road Bridges, Kyoto, McGraw Hill, 1843-1850, 1997.
- Žnidarič, A., Lavrič, I., Kalin, J., Extension of Bridge WIM Systems to Slab Bridges, COST, 263-272, Lisbon, 1998.
- Žnidarič, A., Vzpostavitev metodologije določanja in kontroliranja nosilnosti objektov na državnih cestah - Poročilo P 901/09-670-1, ZAG, Ljubljana, 2010.
- Žnidarič, A., Pakrashi, V., O'Brien, E. J., O'Connor, A., A review of road structure data in six European countries, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban design and planning, 164(4), 225-232, 2011.
- Žnidarič, A., Kreslin, M., Lavrič, I., Kalin, J., Simplified approach to modelling traffic loads on bridges, Transport Research Arena 2012, 2012(48), 2887-2896, 2012.
- Žnidarič, A., Influence of number and quality of weigh-in-motion data on evaluation of load effects on bridges, Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, 2017a.
- Žnidarič, A., Kreslin, M., Kalin, J., Meritve z mostnimi sistemi za tehtanje vozil med vožnjo, Slovensko društvo za mehaniko, 187-195, Ljubljana, 2017b.
- Žnidarič, A., Kalin, J., Kreslin, M., Improved accuracy and robustness of bridge weigh-in-motion systems, Structure and Infrastructure Engineering, 2018(4), 412-424, 2018.
- Žnidarič, A., Kreslin, M., Kalin, J., Anžlin, A., Uporaba sistemov za tehtanje vozil med vožnjo za določitev realne konstrukcijske varnosti mostov, Gradbeni vestnik, 2019(12), 291-298, 2019.
- Žnidarič, A., Kalin, J., Using bridge weigh in motion systems to monitor single span bridge influence lines, Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2020(10), 743-756, 2020.
- Žnidarič, J., Žnidarič, A., Evaluation of the Carrying Capacity of Existing Bridges, Slovene-US project JF094, ZRMK Ljubljana, 1994.

USPOSABLJANJE POŽARNIH STROKOVNJAKOV, PROJEKT SKILLED FE

Avtorji:

prof. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad., UL FGG
tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si

Mateja Gris, dipl. var. inž., SZPV
mateja@szpv.si

asist. dr. Anita Ogrin, univ. dipl. inž. grad., UL FGG
anita.ogrin@fgg.uni-lj.si

Vse pogosteje smo priče velikim požarom v objektih. Evropsko strokovno javnost je v zadnjih letih najbolj pretresel katastrofalni požar stanovanjske stolpnice Grenfell Tower v Londonu poleti 2017. Fasada te energetske sanirane stavbe je omogočila bliskovito širjenje požara, ki se je začel v stanovanju v 4. nadstropju. Ker so bile evakuacijske poti neprehodne, reševanje pa onemogočeno, je umrlo 72 ljudi. Podobni požari se dogajajo tudi drugod po svetu, vendar k sreči večinoma z manj žrtvami. Londonski požar je tu izpostavljen zaradi vpliva, ki ga ima na strokovno in znanstveno javnost v Evropi in širše. Ponekod že zaostrejuje požarnovarnostne predpise, hkrati pa se več denarja vlaga v raziskave z namenom izboljšanja požarne varnosti objektov in razumevanja problema kot takega.

V Sloveniji je najbolj svež spomin na požar Metalke v Vižmarjih novembra 2021. Zagotovo najbolj odmeven pa je bil požar Kemisa na Vrhniki maja 2017. Zaradi stebra črnega dima na obrobju prestolnice se morda še kdo spomni tudi požara skladišča Mercator v Zalogu maja 2015. In vendar našti požari v Sloveniji niso prinesli sprememb v požarnovarnostni zakonodaji. Le v Tehnični smernici TSG 1-001: 2019 Požarna varnost v stavbah, ki se skladno s Pravilnikom o požarni varnosti v stavbah uporablja pri projektiranju večine stavb, je nekaj požarnovarnostnih ukrepov opredeljenih natančneje.

Poglobljene študije požarov stavb v zadnjih letih potrjujejo temeljno resnico, da je za nezgodo potreben splet okoliščin. Pri omejevanju možnosti za nezgodni dogodek, v tem primeru za požar, se ne moremo osredotočiti le na gradbene požarnovarnostne ukrepe, ampak tudi na organizacijske ukrepe, predvsem pa upoštevati dejstvo, da se raba stavb in z njo požarno tveganje v življenjski dobi stavbe spreminjata. Nujno je povezovanje znanj in izkušenj različnih vrst strokovnjakov,

ki sodelujejo pri načrtovanju, gradnji in rabi stavb s sprejemljivim nivojem požarne varnosti. Prenos znanj in izkušenj na področju požarne varnosti v stavbah se v Sloveniji dogaja predvsem na fakultetah ter strokovnih in stanovskih organizacijah, kot so pri nas Slovensko združenje za požarno varstvo (SZPV), Inženirska zbornica Slovenije (IZS) ipd. Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) in pri Slovenskem združenju za požarno varstvo smo se odločili, da s pomočjo sredstev programa ERASMUS+ vzpostavimo platformo za prenos znanj in izkušenj med različnimi strokovnimi nivoji, med prakso in teorijo. S partnerji iz Hrvaške in Češke smo v letu 2020 kandidirali na razpisu slovenske agencije CMEPIUS, ki skrbi za del programov ERASMUS+, in v močni konkurenci uspeli pridobiti sredstva za projekt z naslovom Usposabljanje požarnih strokovnjakov. Angleški naslov projekta je Skilled to be a Fire Expert, akronim pa SkilledFireExpert oziroma SkilledFE. Logotip skupaj z logotipom financerja prikazujemo na sliki 1.



Erasmus+

SKILLED TO BE A FIRE EXPERT

Slika 1. V logotipu projekta v obliki plamena vžigalice je sova, simbol modrosti.

Strokovnjak požarnega varstva je zelo širok pojem, usposabljanje tovrstnih strokovnjakov pa zelo široko področje. Poleg osnovnega znanja s področja požarnega varstva je potrebno stalno spoznavanje novih požarnih tveganj in ukrepov za preprečevanje njihovih negativnih posledic. To je tudi eden izmed glavnih ciljev evropskega projekta SkilledFE. V okviru tega projekta želimo skupaj s partnerji prenesti nova spoznanja s področja požarne varnosti strokovnjakom požarnega varstva in tudi ostalim zainteresiranim skupinam. Delo pri projektu smo začeli 1. oktobra 2020, končali pa ga bomo predvi-

doma 31. oktobra 2022. Poleg vodilne partnerice Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) in Slovenskega združenja za požarno varstvo (SZPV) pri projektu sodelujeta po dva češka in hrvaška partnerja: Tehniška univerza Ostrava (VSB), češko požarno združenje Majaczech, gradbena fakulteta Univerze v Zagrebu (UZ GF) in hrvaško projektantsko podjetje Inspekting, d. o. o. V nadaljevanju na kratko predstavimo namen projekta, pričakovane rezultate in opravljeno delo od začetka projekta oktobra 2020.

VSEBINA, PRIČAKOVANI REZULTATI IN DINAMIKA PROJEKTA

V projektu SkilledFE pripravljamo spletno platformo za hitrejši prenos ustrezno prečiščenih podatkov oziroma pretok informacij o novih spoznanjih in izzivih na področju požarnega varstva med teorijo in prakso ter različnimi strokovnimi nivoji v različnih fazah načrtovanja, gradnje in rabe stavb. Platformo bomo upravljali partnerji projekta, uporabljali pa jo bodo lahko vsi, ki si želijo osnovnih znanj, predvsem pa svežih informacij s področja raziskav, razvoja proizvodov in storitev, novih požarnih tveganj, novih pristopov h gašenju ipd. Strokovne vsebine s področja požarne varnosti stavb smo razdelili na osem področij oziroma modulov in določili partnerje, odgovorne za pripravo posameznih vsebin (glej preglednico 1). Spletna platforma bo po koncu projekta dostopna na naslovu <http://www.skilledfe.eu/>, kjer so trenutno predstavljeni glavni cilji projekta in tekoče informacije o poteku in aktivnostih projekta.

Modul	Vodja modula	Sodelujoči partnerji
Ocena tveganja	UL FGG	VSB, Majaczech, UZ GF
Preprečevanje širjenja požara po fasadi in na sosednje stavbe	SZPV	Inspekting, Majaczech, UZ GF
Požarna odpornost konstrukcij in preprečevanje širjenja požara po stavbi	UL FGG	UZ GF, SZPV
Evakuacija	UZ GF	UL FGG, SZPV, Majaczech
Sistemi javljanje požara in alarmiranja	VSB	SZPV, UZ GF
Kontrola dima	Inspekting	UZ GK, VSB, UL FGG
Sistemi za avtomatsko gašenje požara	VSB	SZPV, UL ZG
Ukrepi za učinkovito intervencijo gasilcev	Majaczech	VSB, SZPV

Preglednica 1. Razdelitev strokovne vsebine na module in razporeditev dela med partnerji.

Vsebine modulov bomo v marcu in aprilu predstavili ožji strokovni javnosti, zbrali odzive ter predloge za izboljšave.

Poletni meseci letošnjega leta pa bodo namenjeni za dopolnitev modulov glede na predloge, pripravo dodatnih orodij in končno vzpostavitev spletne platforme, kjer bodo rezultati projekta dostopni požarnim strokovnjakom in tudi širši strokovni javnosti. Spletna platforma bo dostopna na spletni strani projekta <http://www.skilledfe.eu/>, ki skladno s potekom projekta in časovnim planom trenutno vsebuje osnovne informacije o projektu in partnerjih ter kratke pozetke aktivnosti pri projektu in povzetke strokovnih vsebin, podanih v preglednici 1. V naslednjih mesecih se bo spletna stran skladno s potekom dela pri projektu dopolnjevala in izboljševala.

Poleg modulov pripravljamo tudi navodila za poučevanje odraslih strokovnjakov s področja požarnega varstva, saj gre pogosto za izmenjavo znanj in ne klasično poučevanje, pri katerem ima predavatelj praviloma več specifičnega znanja od poslušalcev, nima pa posebnih veščin s področja prenosa znanja oziroma poučevanja, kar naj bi tovrstna navodila pripomogla izboljšati.

Zaradi pandemije covid-19 večina sestankov poteka preko spleta, kar vpliva na kvaliteto sodelovanja med partnerji in tudi dinamiko projekta. Do sedaj se nam je uspelo za isto mizo vnesti le enkrat – septembra 2021 v dvorcu v vasi Bílé Poličany v regiji Hradec Králové, kjer imata sedež češko požarno združenje Majaczech (slika 1) in ena od dveh čeških gasilskih šol za prostovoljne gasilce. Na tem sestanku smo se tudi dogovorili za končni logotip projekta (slika 2). Predstavitve rezultatov projekta – končne verzije platforme in orodij – načrtujemo v septembru 2022. Upamo, da bo zadnji sestanek partnerjev izveden v živo, in to v času mednarodnega kongresno-sejemskega dogodka Varnost in preventiva 2022, ki bo potekal 13. in 14. oktobra 2022 na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani.



Slika 2. Gostiteljica Kamila Kempna (VSB) in Jan Smolka (Majaczech) (na sliki ob zaslonu) sta poskrbela za odlično organizacijo sestanka.

DOLGOROČNE KORISTI PROJEKTA

Pri projektih ERASMUS+ med rezultate dela spadata tudi medsebojno spoznavanje in izmenjava izkušenj med partnerji v mednarodnem okolju, v zaključku projektov pa prenos znanja, izkušenj in poznanstev v domače okolje. V času sestankov gostitelj običajno organizira druženje z lokalnimi organizacijami, predavanja, ogleda ipd. z vsebinami, ki so povezane z vsebinami projekta. Na sestanku na Češkem smo si tako na primer ogledali njihovo gasilsko šolo (slika 3).



Slika 3. Med ogledom gasilske šole v Bílé Poličany smo preizkusili, kako težka je oprema, ki jo gasilci nosijo pri intervenciji.

V Sloveniji smo pri pripravi in izvajanju projekta okrepili sodelovanje strokovnjakov, ki se ukvarjajo s požarnim varstvom pri UL FGG in SZPV, med drugim se nadejamo tudi tesnejšega dolgoročnega sodelovanja z Inženirsko zbornico Slovenije, Zbornico za arhitekturo in prostor, drugimi stanovskimi in visokošolskimi organizacijami, ki se vsaj delno ukvarjajo s podajanjem vsebin s področja varstva pred požarom.

Za doseganje boljših rezultatov projekta in dolgoročnih ciljev projekta vabimo vse strokovnjake, ki želite sodelovati kot zunanji ocenjevalci vsebin posameznih modulov, da se oglasite pri vodji projekta dr. Tomažu Hozjanu na UL FGG. S svojim znanjem in konstruktivnimi pripombami boste lahko pripomogli, da se vsebine z različnih področij požarne varnosti izboljšajo in s tem prenesejo boljše vsebine in informacije do požarnih strokovnjakov in vseh, ki so tako ali drugače vpleteni v požarno varnost stavb.

Vse zainteresirane pa vabimo, da se udeležite javnih multiplikativnih dogodkov, kjer bodo predstavljeni rezultati dosedanjega dela in podrobnejše vsebine strokovnih modulov. Prvi tak dogodek bo 29. marca 2022 na zagrebški gradbeni fakulteti, drugi, na katerega ste še posebej lepo vabljeni, pa bo 22. aprila 2022, predvidoma na ljubljanski gradbeni fakulteti. Udeležba na dogodku bo brezplačna, zaradi lažje organizacije pa so prijave obvezne. Prijavni obrazec je dostopen na spletni strani www.szpv.si. Več o projektu in poteku dela pri projektu ter novicah in dogodkih dobite na spletni strani projekta <http://www.skilledffe.eu/> ali z nami navežite stik po elektronski pošti.

FOTOREPORTAŽA NADGRADNJA ŽELEZNIŠKE PROGE LJUBLJANA-DIVAČA NA ODSEKU LJUBLJANA- BREZOVICA



Financira
Evropska unija
NextGenerationEU



Slika 1. Nadgradnja levega tira na odseku Ljubljana-Brezovica.

Lokacija: odsek Ljubljana-Brezovica

Investitor: Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija RS za infrastrukturo

Predvidena izvedba: avgust 2021–november 2022

Ocenjena vrednost: 67,61 milijona evrov

EU-sredstva – Načrt za okrevanje in odpornost (NOO): 37,87 milijona evrov

Projektant: SŽ – Projektivno podjetje Ljubljana, d. d.

Izvajalec: Kolektor Koling, d. o. o., SŽ – ŽGP, d. d., GH Holding, d. o. o., Pomgrad, d. d., in CGP, d. d.

Pogodbena vrednost gradbenih del: 55,95 milijona evrov

V okviru nadgradnje odseka Ljubljana-Brezovica bo zamenjanih 6,9 kilometra tirov in vozne mreže na dvotirni progi, urejeni bodo trije nivojski prehodi za najvišjo progovno hitrost ter nadgrajene bodo signalnovarnostne naprave. Postavljenih bo tudi 8196 metrov protihrupnih ograj, saniranih 21 objektov in zgrajena bosta dva nova objekta. Z nadgradnjo peronske infrastrukture, gradnjo dvigal za lažji in varnejši dostop gibalno oviranim osebam na perone ter gradnjo zavetišč z nadstrešnico bo novo podobo dobilo tudi postajališče Ljubljana Tivoli.



Slika 2. Gradnja začasnega perona na železniški postaji Brezovica – levi tir.

Nadgradnja železniškega odseka Ljubljana-Brezovica se je začela 30. 8. 2021, ko je bila uvedena popolna zapora levega tira. Na levem tiru je bila izvedena zamenjava spodnjega in zgornjega stroja ter zgrajen nadomestni armiranobetonski most Mali Graben. Nadgrajena je bila tudi vozna mreža, izvedla se je sanacija prepustov, mostov, postavljena je bila protihrupna ograja. Na postajališču Tivoli je bila izvedena tudi nadgradnja perona ob levem tiru. Po zaključku popolne zapore levega tira dne 6. 2. 2022 je bila uvedena popolna zapora desnega tira. Trenutno se na odseku nadaljujejo dela na vseh omenjenih objektih desnega tira, ki bodo predvidoma zaključena do 30. 6. 2022.



Slika 3. Priprava tirnic na razgrnjeni tolčenec – levi tir.



Slika 4. Sanacija podhoda pri parkirišču Tobačna.



Slika 5. Sanacija železniškega nadvoza na Celovški cesti.



Slika 6. Polaganje tira na območju postajališča Tivoli – levi tir.



Slika 7. Regulacija tira v Gmajnicah – levi tir.



Slika 8. Nadgrajeni levi tir na odseku Ljubljana-Brezovica.



Slika 9. Nadgrajeni levi tir na odseku Ljubljana-Brezovica.



Slika 10. Izkopavanje spodnjega ustroja ob postajališču Tivoli – desni tir.



Slika 11. Zasipanje geotekstila in geomreže spodnjega ustroja ob Cesti v Log – desni tir.

Več o projektu je na voljo na spletnem portalu Krajšamo razdalje.

(<http://www.krajsamorazdalje.si/projekti/nadgradnja-zelezniske-proge-ljubljana-divaca>)

Avtor: Direkcija RS za infrastrukturo

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

David Mihelič. Izhodišča za parametrizacijo standardiziranih postavk za krovska dela, mentor doc. dr. Aleksander Srdić, somentor Ivan Rus;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135099>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Lea Kostevc. Analiza specifičnih značilnih pretokov slovenskih rek, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentorica dr. Mira Kobold;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135098>

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Katja Jenko. Kapacitetna analiza priključevanja obrtne cone Vaše na obstoječe cestno omrežje, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentorica asist. dr. Irena Strnad;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135145>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smeri Gradbene konstrukcije, Geotehnika-hidrotehnika, Nizke gradnje)

Samir Hozanovič. Uporaba metode zmanjšanega prečnega prereza za določitev mehanske odpornosti lesenega nosilca v pogojih naravnega požara, mentor doc. dr. Robert Pečenko, somentorja asist. dr. Sabina Huč in izr. prof. dr. Tomaž Hozjan;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=135100>

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Janko Relič. Organizacija gradbišča in terminsko planiranje gradnje prizidka Vrtca Ciciban Sevnica, mentor prof. dr. Uroš Klanšek, somentor doc. dr. Zoran Pučko;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=81238&lang=slv>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Andreja Krajnc. Forenzično inženirstvo - izbrani primeri, mentor doc. dr. Mojmir Uranjek, somentor izr. prof. dr. Matjaž Skrinar;
<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=81141>

Rubriko ureja **Eva Okorn**, gradb.zveza@siol.net

15.-18.4.2022

ICCEMS 2022 — 7th International Conference on Civil Engineering and Materials Science
Hibridna konferenca
Čiba, Japonska
www.iccem.org

19.-20.4.2022

5. konferenca Biznis in trendi v gradbeništvu
Portorož, Slovenija
<https://akademija-finance.si/konference/gradbena-konferenca/>

22.4.2022

**Skilled to be a Fire Expert
Workshop. Fire safety design of buildings**
UL FGG, Ljubljana, Slovenija
<http://www.skilledfe.eu>

1.-5.5.2022

ICSMGE 2022 - 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
Hibridna konferenca
Sydney, Avstralija
www.icsmge2022.org

23.-25.5.2022

CIVILMEET2022 – International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering
München, Nemčija
www.albedomeetings.com/2022/civilmeet

25.5.2022

Strokovni posvet Društva za ceste severovzhodne Slovenije – Mariborski prometni infrastrukturni izzivi do leta 2030
Maribor, Slovenija
www.dcm-svs.si

16.-18.6.2022

GSCAEE2022 – 2nd Global Summit on Civil, Architectural and Environmental Engineering
Kopenhagen, Danska
www.thescientistt.com/civil-structural-environmental-engineering/2022

27.-29.6.2022

IS-Cambridge 2022 — 10th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground
Cambridge, Združeno kraljestvo Velike Britanije in Severne Irske
www.is-cambridge2020.eng.cam.ac.uk

5.-7.9.2022

17th Danube - European Conference on Geotechnical Engineering
Bukarešta, Romunija
<https://sites.google.com/view/17decgero/home>

12.-15.9.2022

EUROCK 2022 — Rock and Fracture Mechanics in Rock Engineering and Mining
Helsinki, Finska
www.eurock2022.com

13.-17.9.2022

ICOSAR 2021-2022, 13th International Conference on Structural Safety & Reliability
Šanghaj, Kitajska
www.icosar2021.org

15.-17.9.2022

ICSCE 2022 — 6th International Conference on Structural and Civil Engineering
Barcelona, Španija
www.icsce.org

28.-29.9.2022

4. gradbeno - prostorsko - okoljska konferenca
Ljubljana, Slovenija
<https://gradbeno-prostorsko-okoljska-konferenca.si/>

26.-28.10.2022

ICBSTS 2022 — 3rd International Conference on Building Science, Technology and Sustainability
Lizbona, Portugalska
www.icbsts.org

25.-28.6.2023

9th International Congress on Environmental Geotechnics
Kreta, Grčija
www.iceg2022.org

17.-21.9.2023

12 ICG - 12th International Conference on Geosynthetics
Rim, Italija
www.12icg-roma.org

Rubriko ureja **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net